

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA FÍSICA

Tesis de grado para optar al título de

Ingeniero Físico

**Diseño e implementación de un dispositivo para la automatización del disparo de armas de
fuego de fabricación artesanal mediante control inalámbrico**

Por

Jose Javier Palacio Zuluaga



2020

Agradecimientos

Al profesor y servidor de la Fiscalía General de la Nación Jaime Granada Hincapié, por su enorme interés en este trabajo y facilitar las labores gracias a la gestión de convenio entre la Universidad Tecnológica de Pereira y esta entidad pública.

Al director del trabajo de grado Sebastián Martínez García, por todos los conocimientos impartidos en la carrera y por hacer posible esta gestión, por su disposición y apoyo.

A mis padres, mi hermana, mi novia y demás familiares por representar un importante apoyo moral y económico en mi proceso académico, por sus consejos y acompañamiento.

Al ingeniero Aeronáutico Juan Camilo Gómez Galvis, por haber sido un gran apoyo académico a lo largo de mi carrera, y por aportar un granito de arena en cada paso que di en mi vida universitaria.

A mis compañeros y docentes en general, porque todos hicieron parte de este maravilloso proceso académico y de lo que hoy logro.

Tabla de Contenido

Capítulo 1. Ideas Preliminares	8
1. Descripción del problema.	8
1.1. Introducción.	8
1.2. Planteamiento del problema de investigación.	8
1.3. Justificación.	10
1.4. Objetivos.	10
1.4.1. Objetivo general.	10
1.4.2. Objetivos específicos.	10
Capítulo 2. Revisión Bibliográfica	12
2. Antecedentes	12
2.1. Trigger Scan.	12
2.2. Prototipa	15
Capítulo 3. Marco Teórico	17
3.1. Servomotores.	17
3.2. Módulo bluetooth.	20
3.3. Sensor de sonido.	21
3.3.1. Sensor de sonido KY-038	23
3.4. Arduino.	24
3.4.1. Arduino UNO	25
3.5. Processing.	27
3.6. Armas de fuego.	27
3.6.1 Armas de fuego de avancarga	28
3.6.2. Armas de fuego de retrocarga	28
3.6.2.1. Revólveres.	30

3.6.2.2. Pistolas.	31
3.6.3. Armas de fuego de fabricación artesanal	34
Capítulo 4. Desarrollo	36
Capítulo 5. Resultados	71
Conclusiones	72
Recomendaciones y Trabajos futuros	73
Referencias	74

Tabla de ilustraciones

Figura 1. Trigger Scan y características de medición. _____	12
Figura 2. Motor paso a paso PK243-02AA. _____	13
Figura 3. Gráficos de fuerza vs distancia proporcionados por el Trigger Scan Software. _____	14
Figura 4. Equipo balístico STZA 10. _____	15
Figura 5. Equipo balístico STZA 12M1. _____	16
Figura 6. Parte interna de un servomotor. _____	18
Figura 7. Tren de pulsos PWM para el control de un servomotor, opción 1. _____	19
Figura 8. Tren de pulsos PWM para el control de un servomotor, opción 2. _____	19
Figura 9. Módulos bluetooth HC-05 y HC-06. _____	20
Figura 10. Ondas sonoras. _____	22
Figura 11. Intensidad de sonido. _____	23
Figura 12. Sensor de sonido KY-038. _____	23
Figura 13. Placas oficiales de Arduino. _____	25
Figura 14. Arduino UNO. _____	26
Figura 15. Especificaciones de Arduino UNO. _____	26
Figura 16. Processing IDE. _____	27
Figura 17. Arma de fuego de avancarga. _____	28
Figura 18. Revólver y sus partes. _____	31
Figura 19. Pistola y sus partes. _____	33
Figura 20. Arma de fuego de fabricación artesanal. _____	35
Figura 21. Arma de fuego de fabricación artesanal. 2. _____	35
Figura 22. Mecanismo de disparo de armas de fuego FGN. _____	36
Figura 23. Sistema de elevación de la base se sujeción de las armas de fuego. _____	37
Figura 24. Base de reposo de las armas de fuego. _____	38
Figura 25. Sistema de sujeción y accionamiento de armas de fuego. _____	39
Figura 26. Polea simple. _____	40
Figura 27. Manivela torno. _____	41
Figura 28. Polea simple. Vista 1. INVENTOR AUTOCAD. _____	42
Figura 29. Polea simple. Vista 2. INVENTOR AUTOCAD. _____	43
Figura 30. Polea simple. Vista 3. INVENTOR AUTOCAD. _____	43

Figura 31. Fuerza en libras-fuerza requerida para accionar armas de fuego. _____	44
Figura 32. Fuerza en kilogramos-fuerza y en Newton requerida para accionar armas de fuego. _	45
Figura 33. Servomotor FT5335M. _____	45
Figura 34. Engranajes del servomotor FT5335M. _____	46
Figura 35. Dimensiones en milímetros del servomotor FT5335M. _____	46
Figura 36. Características mecánicas y eléctricas del servomotor FT5335M. _____	47
Figura 37. Ángulo límite de giro del servomotor FT5335M. _____	47
Figura 38. Acanaladura de polea impresa. _____	49
Figura 39. Vista lateral de polea impresa. _____	49
Figura 40. Fuente ATX para PC de escritorio. _____	50
Figura 41. Características de fuente ATX. _____	51
Figura 42. Función de acuerdo a los colores de los cables de fuente ATX. _____	51
Figura 43. Regulador ajustable de voltaje IL 90-046. _____	52
Figura 44. Rango del ancho de pulso del servomotor FT5335M. _____	54
Figura 45. Ingresar identificación. Aplicación de escritorio. _____	55
Figura 46. Ingreso de clave de administrador. Aplicación de escritorio. _____	56
Figura 47. Clave de administrador errada Aplicación de escritorio. _____	57
Figura 48. Clave de administrador exitosa. Aplicación de escritorio. _____	57
Figura 49. Registro de contraseña. Aplicación de escritorio. _____	58
Figura 50. Contraseña registrada. Aplicación de escritorio. _____	59
Figura 51. Interfaz del disparador de armas de fuego. Aplicación de escritorio. _____	59
Figura 52. Accionador automático. Aplicación de escritorio. _____	60
Figura 53. Realizando disparo. Aplicación de escritorio. _____	61
Figura 54. Disparo fallido. Aplicación de escritorio. _____	62
Figura 55. Disparo exitoso. Aplicación de escritorio. _____	62
Figura 56. Accionador manual. Aplicación de escritorio. _____	63
Figura 57. Avanzando. Aplicación de escritorio. _____	64
Figura 58. Máximo rango de giro alcanzado. Aplicación de escritorio. _____	64
Figura 59. Retrocediendo. Aplicación de escritorio. _____	65
Figura 60. Mínimo rango de giro alcanzado. Aplicación de escritorio. _____	65
Figura 61. Vista lateral de polea en madera. _____	67

Figura 62. Acanaladura. polea en madera. _____	68
Figura 63. Caja metálica. _____	68
Figura 64. Caja de madera. _____	69
Figura 65. Prototipo acondicionado en la FGN. _____	70

Capítulo 1. Ideas Preliminares

1. Descripción del problema.

1.1. Introducción. Las ciencias forenses son de las áreas del conocimiento más influyentes y de mayor importancia a nivel social. El esclarecimiento de hechos delictivos se ha convertido en una actividad realizada a diario en todo el mundo que promete avanzar y forjar sociedades justas. La balística forense se basa en un conjunto de saberes interdisciplinarios que a través del tiempo se han ido integrando para llegar a la verdad y al esclarecimiento de dichos hechos punibles. Un ítem de gran relevancia en la investigación criminal, es el estudio con diversos fines (principalmente en el área de la balística comparativa) de las armas de fuego de procedencia desconocida o de fabricación artesanal.

Este proyecto consiste en la fabricación de un dispositivo capaz de disparar armas de fuego de procedencia desconocida o armas de fuego de fabricación artesanal empleando un medio de conexión inalámbrica.

1.2. Planteamiento del problema de investigación. Un arma de fuego es todo artillugio o instrumento capaz de lanzar un proyectil generalmente a altas velocidades, usando como fuerza motriz impulsora la combustión de pólvora. Las armas de fuego de fabricación industrial cumplen con estándares de calidad que brinda seguridad a la persona que la manipula. Debido al tratamiento industrial que acarrea el fabricar un arma de fuego segura, estas presentan un valor elevado en el mercado y son de difícil acceso para los civiles, no sólo por lo económico sino también por el impacto social que puede traer el uso inadecuado de un arma de fuego. Por estas razones,

actualmente en Colombia la delincuencia común opta por el porte, tráfico y fabricación de armas de fuego, partes y municiones, que está tipificado como delito en el artículo 365 de la ley 599 del 2000 [1]. Estas armas de fuego fabricadas de manera artesanal presentan bajo costo en el mercado respecto a las de fabricación industrial, pero son armas de fuego altamente inseguras, que suponen un alto riesgo para la persona que las manipula. La Fiscalía General de la Nación es una de las entidades estatales encargadas del esclarecimiento de hechos punibles, y son muy comunes aquellos en los que en el delito se ve intervenida un arma de fuego de procedencia desconocida o de fabricación artesanal. Estas armas de fuego deben ser sometidas a estudio pericial, lo cual implica que deben ser accionadas y para ello en la Fiscalía General de la Nación no existen instrumentos adaptados para realizar esta acción, actualmente cuentan con un dispositivo capaz de accionar armas de fuego, este dispositivo se conoce como “Trigger Scan”, el cual a pesar de ser capaz de realizar la labor que plantea este problema de investigación, es un dispositivo no pensado para armas de fabricación artesanal o procedencia desconocida, sino para armas industriales y su único fin es realizar un análisis de la fuerza requerida para disparar estas armas, y se opera accionando el arma sin munición [2]. Además es un dispositivo de muy alto costo, por lo cual al exponerse con armas de fuego no industriales puede verse afectado en su funcionamiento o en el peor de los casos se puede destruir. Por estas razones en la Fiscalía General de la Nación no se emplea para este fin siendo un perito quien debe asumir el rol de accionante y el alto riesgo que implica disparar, poniendo en total peligro su integridad física.

Con base en lo anterior se presenta la siguiente pregunta de investigación:

¿Es posible desarrollar un mecanismo capaz de accionar un arma de fuego de fabricación artesanal o de procedencia desconocida de forma inalámbrica, que pueda resguardar la integridad física de los peritos de la Fiscalía General de la Nación encargados del análisis de dichas armas?

1.3. Justificación. Las armas de fuego de fabricación artesanal no cuentan con un análisis previo de la resistencia de los materiales, por esta razón existe el riesgo de que explote o sufra algún tipo de falla en las manos de quien las dispara [3]. La policía metropolitana de Pereira informa que durante los años 2016 y 2017 se incautaron 34 armas de fuego tipo pistola de fabricación artesanal, 2 tipo revolver y 44 tipo escopeta fabricados bajo la misma modalidad [4].

A pesar de lo anterior, no se tiene hasta el momento información de peritos lesionados a causa del accionamiento de este tipo de armas de fuego en la ciudad de Pereira, pero se busca prevenir que esto suceda ya que es bien sabido de que es muy probable que se presente una eventualidad en el estudio y accionamiento de estas y además, debido al bajo costo de producción de estas armas de fuego que a veces se reduce incluso a la simple inversión que se haga en los materiales, y dada su facilidad de fabricación, es muy probable que esta práctica que ha sido frecuentada por años no tenga fin, y que por el contrario cada vez se incremente más su recurrencia. Por ello se plantea la elaboración de un disparador inalámbrico que pueda otorgar al perito la distancia suficiente para resguardar su integridad física sin alterar los resultados del procedimiento.

1.4. Objetivos.

1.4.1. Objetivo general. Crear un dispositivo capaz de accionar armas de fuego de fabricación artesanal o procedencia desconocida de forma controlada e inalámbrica desde un computador empleando una interfaz de usuario amigable, por medio de un Arduino y de un módulo de conectividad bluetooth.

1.4.2. Objetivos específicos. * Diseñar una interfaz gráfica para sistema operativo Windows, empleando para ello el software Processing.

* Diseñar un sistema mecánico capaz de desplazar el accionador de un arma de fuego de fabricación artesanal o procedencia desconocida hasta que se produzca el disparo, que se active mediante conexión bluetooth y que se controle por medio de un Arduino.

* Registrar pruebas de disparo empleando el mecanismo en los laboratorios de balística de la Fiscalía General de la Nación, seccional Pereira, Risaralda.

Capítulo 2. Revisión Bibliográfica

2. Antecedentes

En esta sección se presentan algunos dispositivos diseñados en la industria para la realización de disparos de armas de fuego, entre ellos se presenta el “Trigger Scan” empleado en los laboratorios balísticos de la FGN.

2.1. Trigger Scan. El Trigger Scan es una herramienta electrónica que permite accionar armas de fuego con el fin de conocer algunas de las propiedades más importantes del disparo como por ejemplo la fuerza necesaria para llevarlo a cabo [5]

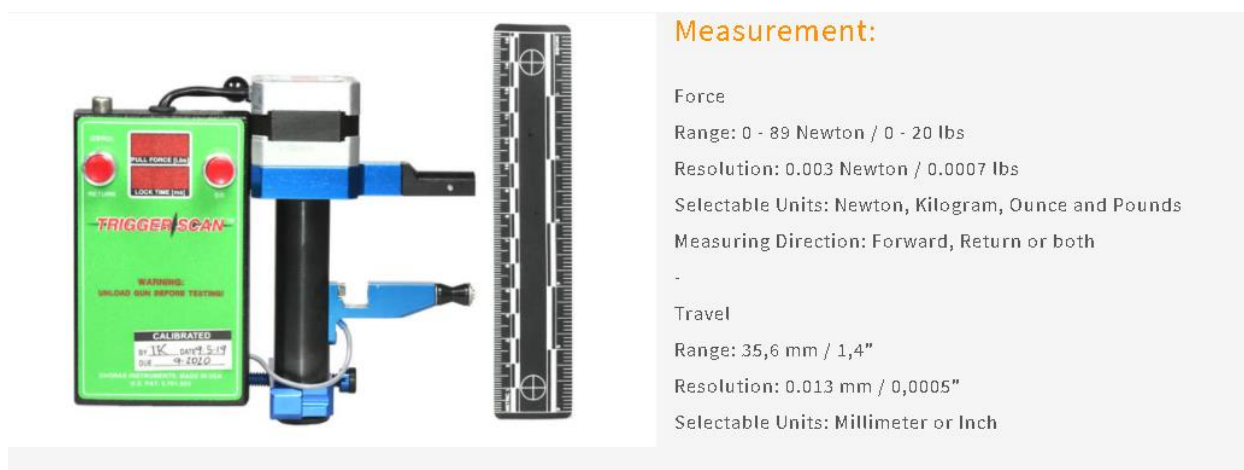


Figura 1. Trigger Scan y características de medición.

Fuente: <http://triggerscan.com/force&travel>

Este dispositivo emplea para su funcionamiento un motor paso a paso de referencia PK243-02AA fabricado por Oriental Motor Vexta [6] (ver Figura 2) que cuenta con un torque de 0,2 Nm [7] y que permite el recorrido de 35,6 mm referenciado en la Figura 1.



Figura 2. Motor paso a paso PK243-02AA.

Fuente: Propia

En la Figura 1 se logran apreciar dos botones, uno tiene la función de girar el motor en una dirección ocasionando que el dispositivo traslade linealmente el brazo accionador hasta una distancia de 35,6 mm, el otro botón genera un movimiento contrario en el motor, es decir, lo hace girar en el sentido opuesto. El Trigger Scan cuenta con un software para un sistema operativo Windows, que permite la adquisición de datos y su registro en un gráfico de Fuerza de accionamiento vs Distancia. [5] (ver Figura 3)

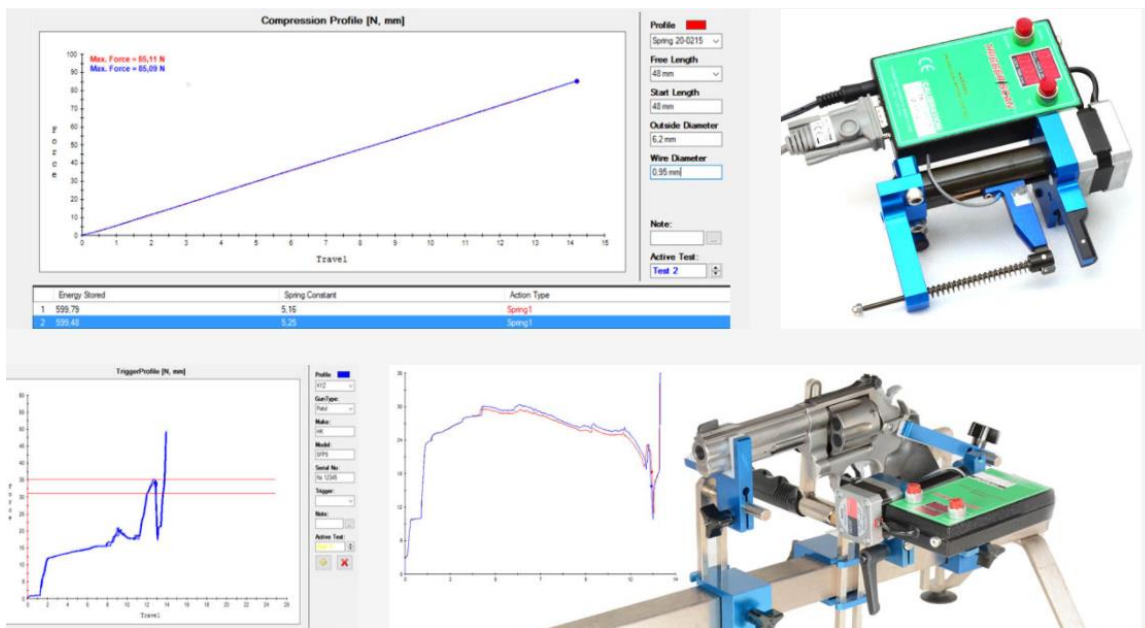


Figura 3. Gráficos de fuerza vs distancia proporcionados por el Trigger Scan Software.

Fuente: <http://triggerscan.com/>

Actualmente la Fiscalía General de la Nación seccional Pereira, cuenta con el Trigger Scan en su laboratorio de balística. Este dispositivo es empleado únicamente para conocer la fuerza requerida para accionar armas de fuego y estas pruebas se realizan sin munición (en seco) debido a que es un dispositivo de alto costo y no puede ser expuesto accionando armas de fabricación artesanal. Adicional a ello, se acciona directamente desde los botones presentados, que están muy próximos al arma de fuego que está siendo accionada, por lo cual el perito forense encargado de la labor corre el inminente riesgo de lesionarse ante un eventual fallo estructural o funcional de las armas de fuego objeto de peritaje, en lo cual radica la importancia de este trabajo.

2.2. Prototypa. La empresa Prototypa, dedicada a la investigación, desarrollo y producción de equipos balísticos para pruebas de cartuchos para armas de caza, deportivas o militares. Se enfoca en la investigación, desarrollo y producción de armas pequeñas, cañones y municiones y montaje para armas [8]. Dentro de sus productos ofrece equipos balísticos para pruebas de armamento en laboratorios forenses, que permiten la realización de disparos de armas de fuego. Algunos de los equipos ofrecidos por esta empresa se muestran a continuación:

- STZA 10



Figura 4. Equipo balístico STZA 10.

Fuente: <http://www.prototypa.com/stza-10-firing-rest-1>

- STZA 12M1



Figura 5. Equipo balístico STZA 12M1.

Fuente: <http://www.prototypa.com/stza-12m1-mobile-firing-rest-1>

Estos equipos balísticos, al igual que el Trigger Scan, son empleados para accionar armas de fuego de tipo industrial, con altos estándares de calidad y seguridad, por lo cual no se sufre ningún tipo de riesgo, siendo manipulados mediante un control manual cercano al dispositivo mecánico que sujeta el arma de fuego como se observa en las Figuras 4 y Figura 5,

Capítulo 3. Marco Teórico

En esta sección se introducen algunos conceptos claves para comprender el desarrollo de este trabajo. Se aclara el funcionamiento y características de los elementos electrónicos empleados y se presentan de manera breve las armas de fuego y sus posibles diseños.

3.1. Servomotores.

Un servomotor (o servo) es un tipo especial de motor de control de posición, compuesto por elementos electromecánicos y electrónicos. La parte interna de un servomotor contiene un motor DC, el eje del motor se acopla a una caja de engranajes similar a una transmisión, lo cual hace potenciar el torque del motor y permite mantener una posición fija cuando se requiera. El circuito electrónico es el encargado de manejar el movimiento y la posición del motor.

La presencia del sistema de engranajes hace que cuando se mueve el eje motor se sienta una inercia muy superior. Observando las imágenes que se han presentado, es de notar que un servo no es un motor como tal, sino un conjunto de partes (incluyendo un motor) que forman un sistema [9] (Ver Figura 6).

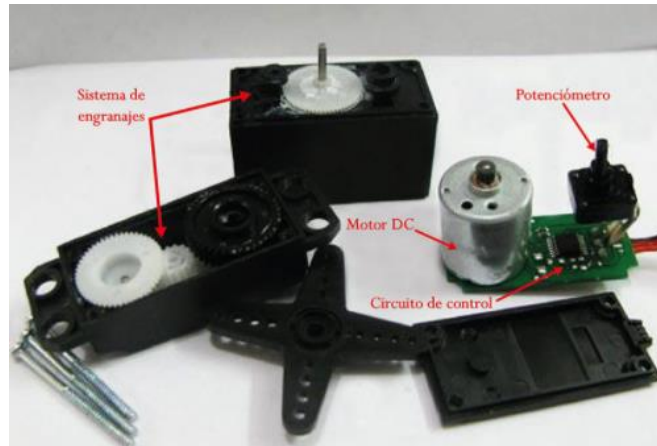


Figura 6. Parte interna de un servomotor.

Fuente: http://panamahitek.com/wp-content/uploads/2016/12/partes_servomotor.jpg

El potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es correcto, el motor volverá a la dirección correcta, hasta llegar al ángulo que es correcto [10].

Los servomotores emplean 3 cables de conexión; dos de ellos para la alimentación de voltaje y un tercero para su control de posición y velocidad. El control de un servomotor se realiza mediante modulación por ancho de pulsos (PWM, Pulse Width Modulation), que generalmente consiste en la generación de una onda cuadrada variando el tiempo en el que el pulso se encuentra en nivel alto, manteniendo el periodo constante generalmente de 20 ms o una frecuencia de 50Hz. El tiempo que dure el pulso en su nivel alto es que lo determina el sentido de giro del servomotor. Estos valores de tiempos pueden variar según el servomotor, a continuación, en la Figura 7 y 8 se aprecian algunas combinaciones.

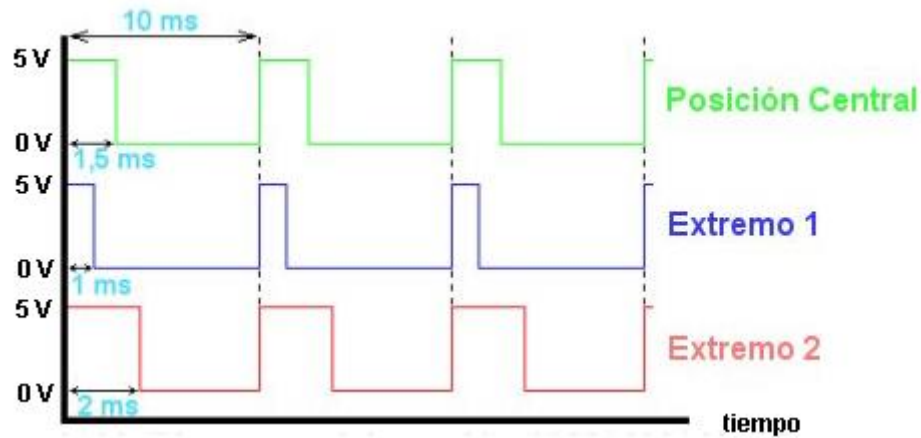


Figura 7. Tren de pulsos PWM para el control de un servomotor, opción 1.

Fuente: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm

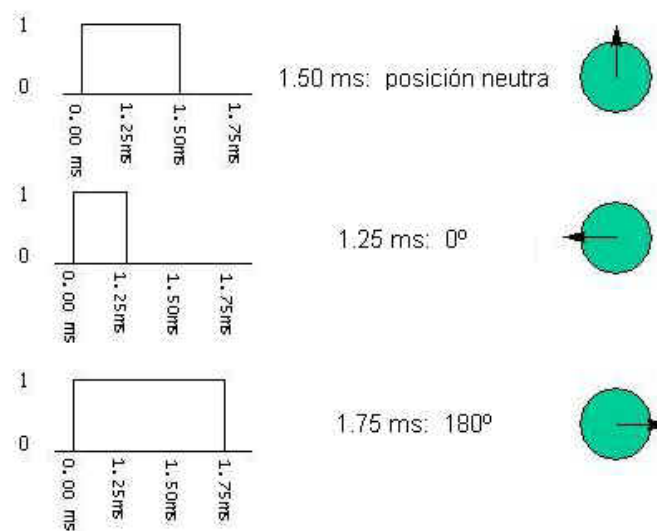


Figura 8. Tren de pulsos PWM para el control de un servomotor, opción 2.

Fuente: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm

Los servomotores varían su precio en el mercado de acuerdo al torque que ofrecen, a los materiales con los que están fabricados y a los rangos de giros.

3.2. Módulo bluetooth.

El bluetooth (BT) es un sistema abierto para sistemas radio, que provee una infraestructura de red que habilita la comunicación de voz y datos entre varios dispositivos, a través de una comunicación inalámbrica. Esta tecnología trabaja en la banda libre, situada en torno a los 2,4 GHz.

Una comunicación BT ocurre entre la capa radio de un maestro y la capa radio de un esclavo. El maestro es el único capaz de iniciar un enlace de comunicaciones BT, la comunicación nunca ocurre entre esclavos, siempre tienen que ser entre un maestro y un esclavo [11].

Existen múltiples artilugios que permiten establecer conexiones inalámbricas mediante el protocolo BT, como por ejemplo los módulos BT HC-05 o el HC-06 (ver Figura 9), que son ampliamente usados en el mundo de la robótica y de los microcontroladores.

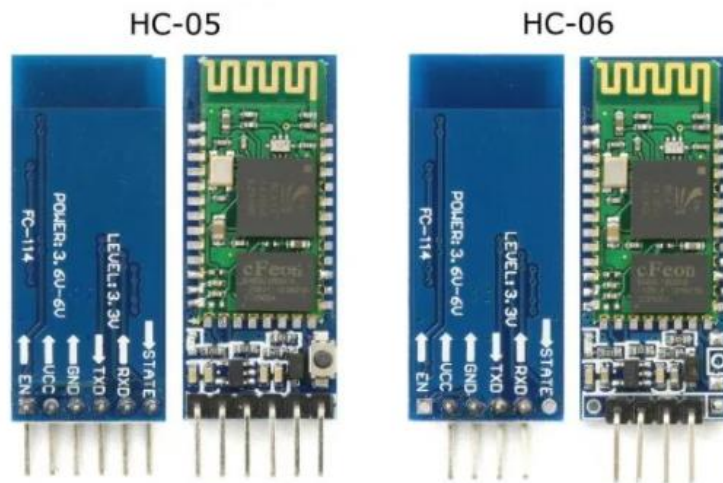


Figura 9. Módulos bluetooth HC-05 y HC-06.

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/hc-05/>

El módulo BT HC-06 tiene 4 pines (Vcc, Gnd, Txd y Rxd) y solo puede actuar como esclavo. Permite una conexión sencilla mediante comandos de Atención (conocidos también como comandos AT o comandos Hayes) a través de un puerto serial. Además cuenta con un led que

indica el estado de conexión del módulo, de la siguiente manera: Si este led enciende y apaga repetitivamente, significa que el módulo no se encuentra ejecutando una conexión , pero si dicho led está encendido de forma continua, significa que el módulo está emparejado y conectado con otro dispositivo. El módulo HC-06 cumple con las especificaciones del estándar BT 2.0 a 2.4 GHz que es compatible con celulares o smartphone android, computadores con sistema operativo Windows y además es compatible con Arduino y PIC [12].

El módulo BT HC-05 funciona similar al módulo HC-06, su diferencia consiste en que el HC-05 posee un pin adicional, que permite su funcionamiento tanto de esclavo como de maestro, es decir, con el HC-05 se puede establecer una conexión BT, mientras que el HC-06 sólo puede recibir solicitudes de conexión.

3.3. Sensor de sonido.

El sonido es una onda mecánica longitudinal que se desplaza en cualquier medio material con una rapidez que depende de las características de dicho medio. Cuando las ondas se propagan en el aire, los elementos que componen el aire vibran, produciendo así cambios de densidad y presión a lo largo de la dirección de propagación [13] (Ver Figura 10).

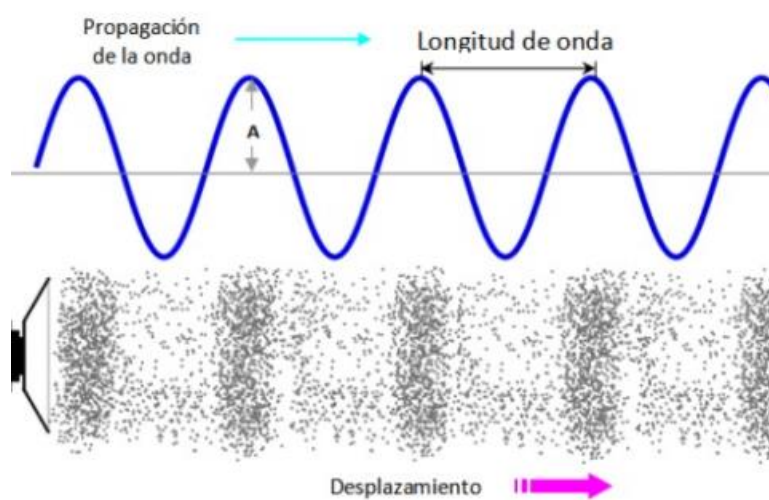


Figura 10. Ondas sonoras.

Fuente: <https://www.lifeder.com/sonido/>

En esencia, un sensor de sonido es un transductor de presión adaptado para la transducción de ondas de sonido en un amplio rango espectral, que generalmente excluye las frecuencias muy bajas, para la percepción de ondas de aire o vibraciones en sólidos, el sensor se denominado micrófono [14].

Cuando una fuente de sonido produce ondas tridimensionales, estas se propagan como esferas concéntricas, entonces la intensidad de sonido se define como la potencia acústica transferida por unidad de área (Ver Figura 11).

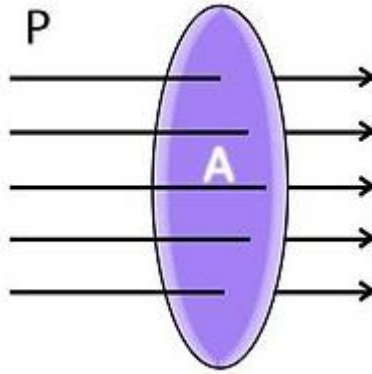


Figura 11. Intensidad de sonido.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Intensidad_de_sonido#/media/Archivo:Sonido2.JPG

Los sensores de sonido se diferencian por su sensibilidad, características direccionales, ancho de banda de frecuencia, rango dinámico, tamaños, etc.

3.3.1. Sensor de sonido KY-038. Este módulo de sonido consta de un micrófono, un amplificador LM393 y un preset. Cuenta con dos salidas, una digital y otra analógica [15] (Ver Figura 12).



Figura 12. Sensor de sonido KY-038.

Fuente: <https://saber.patagoniatec.com/2017/05/sensor-de-sonido-ky-038/>

Este sensor consta de 4 pines.

- AO = Salida Análoga
- GND = Tierra
- VCC = Alimentación de 3.3V a 6V
- DO = Salida Digita

Y posee las siguientes características:

- Gama de frecuencias: 100 – 10.000 Hz.
- Sensibilidad: $-46 \pm 2,0$, (0dB = 1V / Pa) a 1K Hz.
- La sensibilidad mínima a ruido: 58 dB.

3.4. Arduino.

Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores. Se han fabricado diferentes modelos de placas Arduino oficiales (ver Figura 13), cada una pensada con un propósito diferente y características variadas (como el tamaño físico, número de pines E/S, modelo del microcontrolador, etc). Todas las placas pertenecen a la misma familia (microcontroladores AVR marca Atmel), esto significa que comparten la mayoría de sus características de software, arquitectura, librerías y documentación [16].

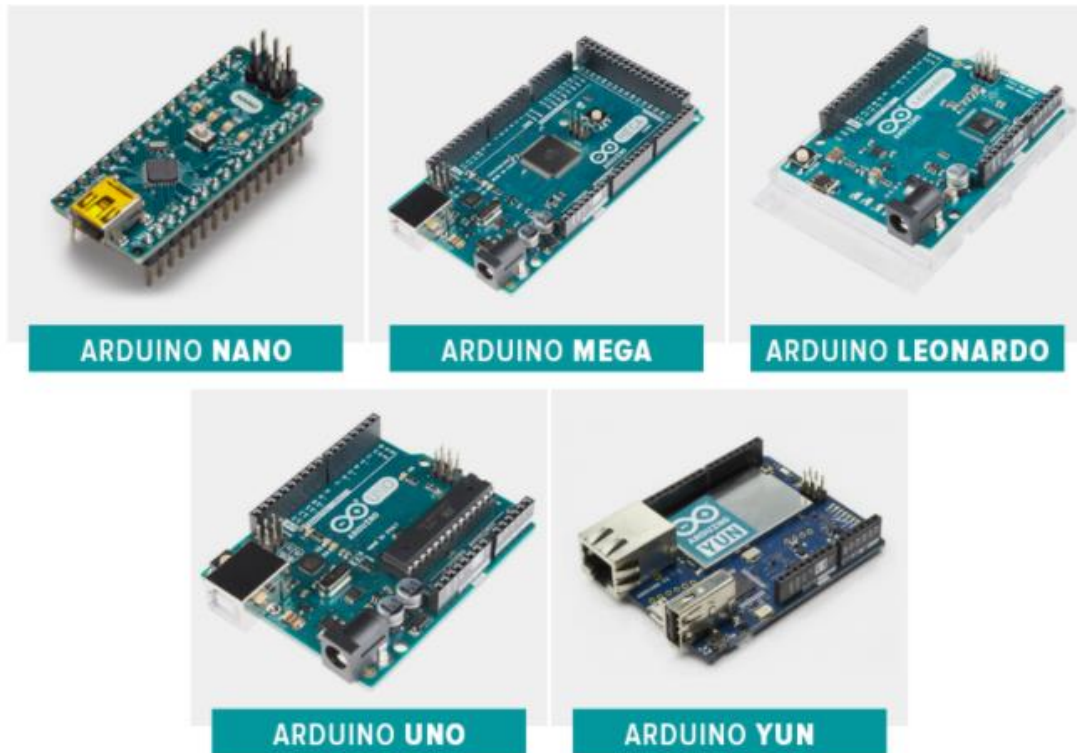


Figura 13. Placas oficiales de Arduino.

Fuente: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

Cualquiera que desee ampliar y mejorar tanto el diseño hardware de las placas, como del entorno de desarrollo, puede hacerlo sin problemas. Esto permite que exista un rico ecosistema de placas electrónicas no oficiales para distintos propósitos y de librerías de software de terceros, que pueden adaptarse mejor a las necesidades. [16]

3.4.1. Arduino UNO. El Arduino UNO es de lo más empleados por los usuarios, a continuación, en la Figura 14 se presenta la placa y sus pines.

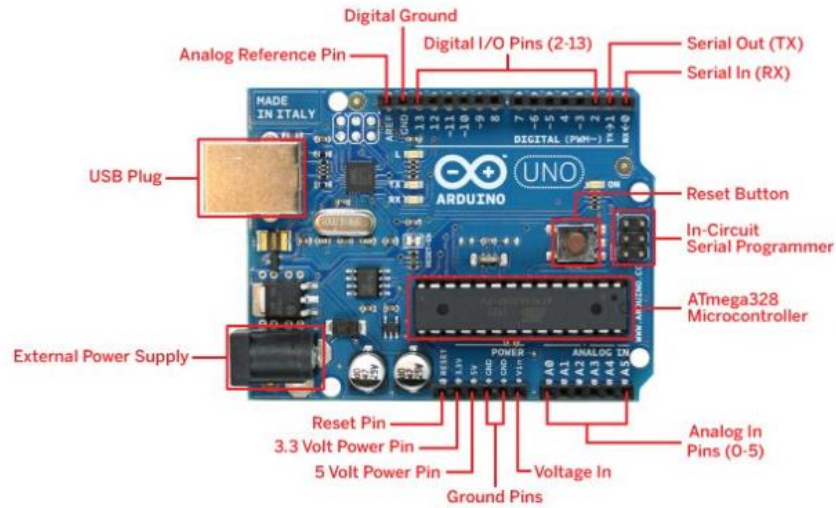


Figura 14. Arduino UNO.

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

Las especificaciones se muestran en la Figura 15.

Microcontroller & USB-to-serial converter	ATmega328P & Atmega16U2
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

Figura 15. Especificaciones de Arduino UNO.

Fuente: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/06/27/arduino-uno-a-fondo-mapa-de-pines-2/>

3.5. Processing.

Processing es un lenguaje de programación orientado a objetos, de código abierto basado en Java. Cuenta con su propio entorno de desarrollo que posee un IDE de desarrollo y su uso es libre [17] (Ver Figura 16).

Este lenguaje de programación permite realizar comunicación directa con Arduino mediante conectividad serial. Así mismo, permite exportar programas desarrollados en formato de aplicaciones ejecutables para diversos sistemas operativos, entre ellos Windows y Android.

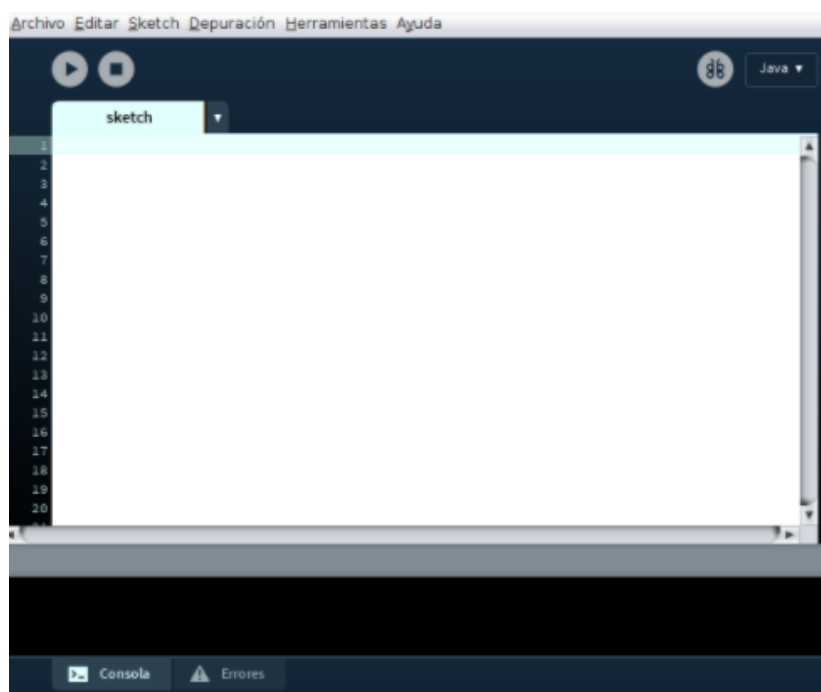


Figura 16. Processing IDE.

Fuente: Propia

3.6. Armas de fuego.

Es todo artillugio, instrumento o maquinaria, capaz de lanzar un proyectil a gran velocidad utilizando como fuerza motriz impulsora la combustión de la pólvora.

Las armas de fuego se dividen en dos grandes grupos:

- Armas de fuego de avancarga
- Armas de fuego de retrocarga

3.6.1 Armas de fuego de avancarga. Se alimentan por la única abertura del tubo metálico o cañón, denominada “boca de fuego” ubicada en la parte anterior del mismo. Se carga por la abertura citada, colocando en primer lugar la pólvora negra, se “entaca” a continuación con un taco de papel, cartón corcho o un material similar, se añade el proyectil que en un principio recibió el nombre de “bodoque” (una especie de bala de piedra, hierro o plomo mas o menos esférica). Se vuelve a “entacar” con una varilla conocida por “baqueta” hasta quedar como empaquetados en el extremo inferior del tubo, por donde se produce la deflagración de la pólvora, originando el lanzamiento del proyectil o disparo [18] (ver Figura 17).



Figura 17. Arma de fuego de avancarga.

Fuente: CFEC Centro de Formación en Estudio Criminal, Armas de Fuego

3.6.2. Armas de fuego de retrocarga. Son aquellas que se cargan por la recámara ubicada en la parte media trasera del arma y se destacan por su estructura mecánica, posibilidades balísticas y condiciones de tiro.

En balística forense, las armas de retrocarga se clasifican en:

Armas cortas: Son aquellas que se pueden disparar usando solo una mano. La sujeción del arma, debido a su poco peso, a sus dimensiones y a su diseño relativamente sencillo, se efectúa con una sola mano. Los dos modelos de arma corta convencionales son revólveres y pistolas. Ambas son las que han ejercido mayor incidencia en el crimen a lo largo de la historia, se encuentran encerradas en los conceptos de factores criminógenos de alto riesgo.

Armas largas: Comprende a las que debido a su diseño necesitan o se presume conveniente que durante la ejecución del disparo se apoyen en el hombro utilizando las dos manos. Su diseño obliga a que sean utilizadas con ambas manos. La mayoría poseen culatas para el apoyo en el hombro.

Son más voluminosas y pesadas que las cortas y el cañón es de superior longitud. Los rifles, carabinas, escopetas, subfusiles, fusiles, etc, son armas dentro de este grupo. Se clasifican como sigue:

- Por el ánima del cañón:
 - Cañón estriado, por ejemplo el subfusil o la carabina
 - Cañón liso, por ejemplo la escopeta
- Por la longitud del cañón, por ejemplo el rifle, carabina, tercerola.
- Por la mecánica del disparo, por ejemplo monotiro, de repetición o automática.

3.6.2.1. *Revólveres*. Todos los revólveres tienen tres piezas principales:

El cañón: sujeto al armazón, enfrentado al orificio del tambor. Algunos van provistos de alza y punto de mira, ubicados en la parte superior y anteroposterior. El ánima o superficie interna del cañón es abierta por los dos extremos y carece de recámara. La propia recámara la realiza el propio orificio del tambor cuando se enfrente al cañón.

El tambor: lo forma un cilindro con orificios diseñados para contener cartuchos y actuar cada uno de ellos como recámara. En los revólveres de carga basculante y oscilante el tambor posee un mecanismo de extracción. En los revólveres modernos el tambor está alojado en el hueco de forma cuadrada que sitúa detrás del cañón.

La armadura: contiene los distintos mecanismos del arma y sirve para empuñarla. Tras el tambor se ubica el plano o culata de cierre donde se aloja la aguja percutora el eje del cilindro y su leva. Debajo del tambor cubierto por una tapa plana están los mecanismos de disparo, apertura y seguro [18].

Además poseen más piezas que conforman la totalidad de su diseño mecánico (ver Figura 18).

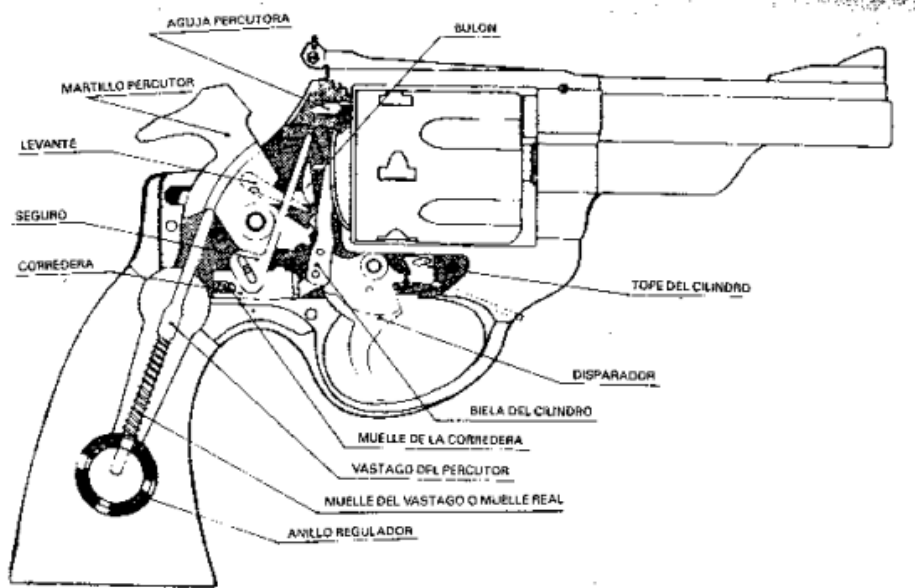


Figura 18. Revólver y sus partes.

Fuente: CFEC Centro de Formación en Estudio Criminal, Revólver.

3.6.2.2. *Pistolas.* Se llama “pistola” al arma de fuego corta que carece de recámaras giratorias. Pueden considerarse como tales “todas las armas cortas que no son revólveres”.

El funcionamiento de las pistolas modernas es “semiautomático”, aunque se las considera y denomina como automáticas siendo incierta esta denominación. Existen modelos con dispositivos para “tiro a ráfagas” en cuyo caso forman parte de las armas de fuego automáticas, que se acompañan de una especie de culatin añadible a la culata del arma que sostiene la misma en el momento de los disparos, como si de un arma larga se tratase.

El principio que rige el funcionamiento de las pistolas se debe a “la conservación de la cantidad de movimiento” (la cantidad de movimiento es el producto de su masa por su velocidad resultando constante en un sistema aislado), además de la 3ª ley del movimiento de Newton “a toda acción se

opone siempre una reacción igual y en sentido contrario”. Los gases que empujan el proyectil actúan también sobre la corredera en sentido contrario consiguiendo con ello la extracción y expulsión de la vaina y de inmediato por acción mecánica la alimentación o entrada de un nuevo cartucho en la recámara.

Los elementos de las pistolas son esencialmente:

El Cañón: el elemento que se denomina cañón es un tubo torneado de una sola pieza, abierto por ambos extremos, la boca de fuego en su parte anterior y la recámara en la posterior. El interior se encuentra estriado al igual que en los revólveres y en algunos modelos modernos de forma poligonal.

La Corredera: pieza móvil ubicada sobre el armazón y ensamblado a éste por guías o canales por donde discurre en movimiento de traslación longitudinal, dando lugar a la función del semiautomatismo. Posee una ventana donde se encuentra adosada la uña extractora que expulsa la vaina una vez efectuado el disparo. La parte posterior de la corredera lo forma el bloque de cierre con función de obturador de la recámara y lugar donde se aloja la aguja percutora que en las armas de percusión central se encuentra en el centro geométrico. En su parte anterior se halla un muelle helicoidal fuerte o “muelle recuperador” que impulsa la corredera hasta quedar en su posición normal. En su parte superior se ubican los elementos de puntería, el alza y el punto de mira.

El Armazón: corresponde al resto de la pistola alojando los mecanismos de disparo, expulsión seguridad y parte de los automatismos [18].

En la Figura 19 se observan algunas de sus partes.

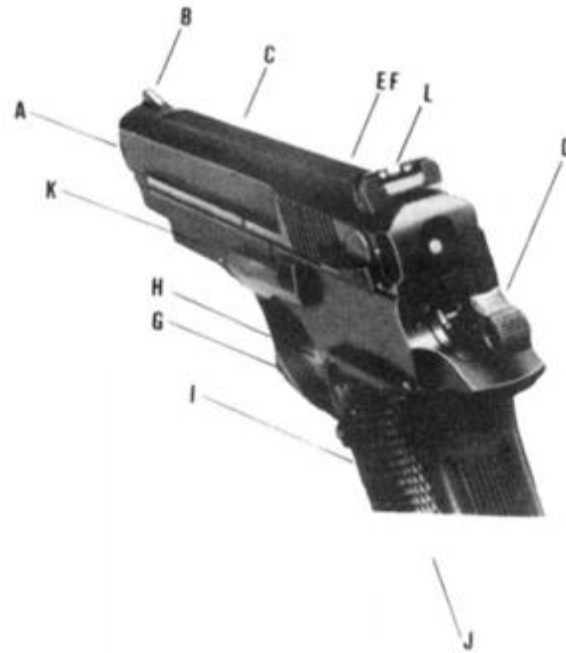


Figura 19. Pistola y sus partes.

Fuente: CFEC Centro de Formación en Estudio Criminal, Pistola

- A. Cañón.
- B. Punto de mira.
- C. Corredera.
- D. Martillo percutor.
- E. Ventana de expulsión.
- F. Uña extractora
- G. Guardamonte.
- H. Disparador (gatillo).
- I. Culata (cachas).
- J. Cargador.
- K. Armazón.
- L. Alza de mira.

Tanto los revólveres como las pistolas cuentan con dos mecanismos de acción:

- Acción simple: parte con el martillo montado en su posición más atrasada, previa operación manual.
- Acción doble: para que se produzca el martillo percutor debe ser accionado por la presión sobre la cola del disparador. Este se levanta por el mecanismo descrito anteriormente y una vez alcanzada una altura se libera el martillo y cae sobre la aguja percutora produciéndose el disparo.

3.6.3. Armas de fuego de fabricación artesanal. Las armas de fabricación artesanal son consideradas armas de fuego debido a que su funcionamiento se aferra a la definición de estas. Son y pueden ser construidas por cualquier persona, puesto que no se requiere de conocimientos técnicos ni científicos existiendo incluso en la web múltiples tutoriales que explican la construcción de estos dispositivos. Debido a la facilidad de construcción, las personas acuden a materiales de bajo costo y sin ningún estándar de calidad (Hierros reciclados, acero galvanizado, tubos de PVC, etc), lo cual las hace altamente insegura incluso para quien las acciona.

La delincuencia acude a este tipo de armas en gran medida por su bajo valor en el mercado y la facilidad de adquisición, en comparación con un arma de fuego industrial, que, si bien se puede conseguir en el mercado ilegal, los costos son bastante elevados.

En las Figuras 20 y 21 se ilustran algunas armas de fabricación artesanal.



Figura 20. Arma de fuego de fabricación artesanal.

Fuente: <https://ojo-publico.com/1859/colombia-biografia-de-un-pais-con-fama-de-violento>



Figura 21. Arma de fuego de fabricación artesanal. 2.

Fuente: <https://www.areacucuta.com/dos-hombres-fueron-sorprendidos-portando-armas-artesanales/>

Las armas de fuego de fabricación artesanal pueden presentar problemas tales como la explosión del artefacto, desvío indeseado de los proyectiles, entre otros.

Capítulo 4. Desarrollo

En este capítulo se presenta el desarrollo del prototipo y todas las consideraciones que se tuvieron en cuenta para ello.

Se pensó en principio realizar un mecanismo de disparo como reemplazo del que se tiene actualmente en la FGN en Pereira, esto incluía un nuevo soporte para la sujeción de las armas, pero, a petición de la FGN se elaboró un sistema afectando mínimamente el dispositivo que allí emplean, ideando únicamente un mecanismo que permitiera realizar el disparo de las armas de fuego de manera inalámbrica.

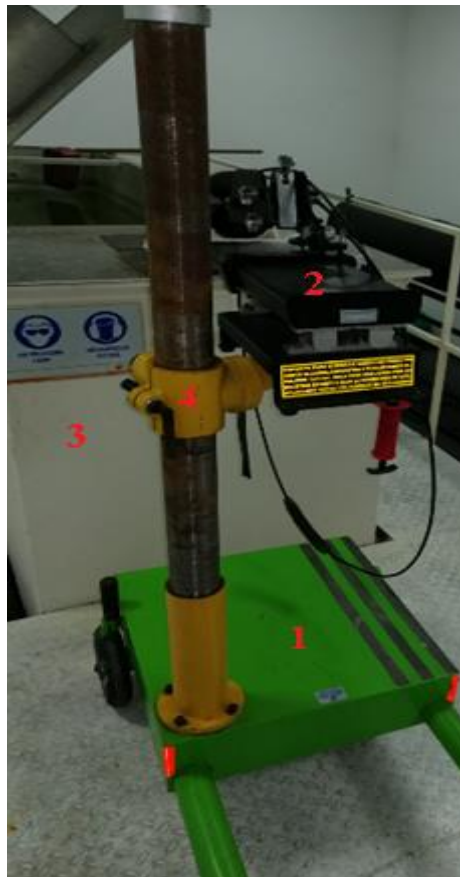


Figura 22. Mecanismo de disparo de armas de fuego FGN.

Fuente: Propia

En la Figura 22 se observa el mecanismo empleado en la FGN para la realización de disparos en armas de fuego, tanto industriales como de fabricación artesanal. En la imagen se observa:

1. Base móvil que posee 3 ruedas, dos laterales y una frontal que permiten el traslado de este mecanismo hacia donde se desee.
2. Base sobre la cual reposan las armas de fuego.
3. Tanque balístico, que si bien no hace parte del mecanismo, es el lugar en donde se realizan las pruebas de disparo y la recuperación de los proyectiles que se obtienen de dichas pruebas.
4. Sistema que permite elevar o bajar la base sobre la cual reposan las armas de fuego.



Figura 23. Sistema de elevación de la base de sujeción de las armas de fuego.

Fuente: Propia

En la figura 23 se observa que el mecanismo de elevación consiste en un sistema piñón cremallera, que girando el brazo negro permite convertir el movimiento circular en lineal, logrando así elevar o bajar la base sobre la cual reposan las armas de fuego.



Figura 24. Base de reposo de las armas de fuego.

Fuente: Propia

En la Figura 24 se observa:

1. Base sobre la cual reposan las armas de fuego.
2. Prensa que inmoviliza el sistema de sujeción de las armas de fuego. Esta prensa es movable y se puede desplazar a lo largo de la base de reposo, logrando mayor espacio para cuando se requieren hacer pruebas con armas largas.

3. Sistema de sujeción de las armas de fuego.
4. Tanque balístico.

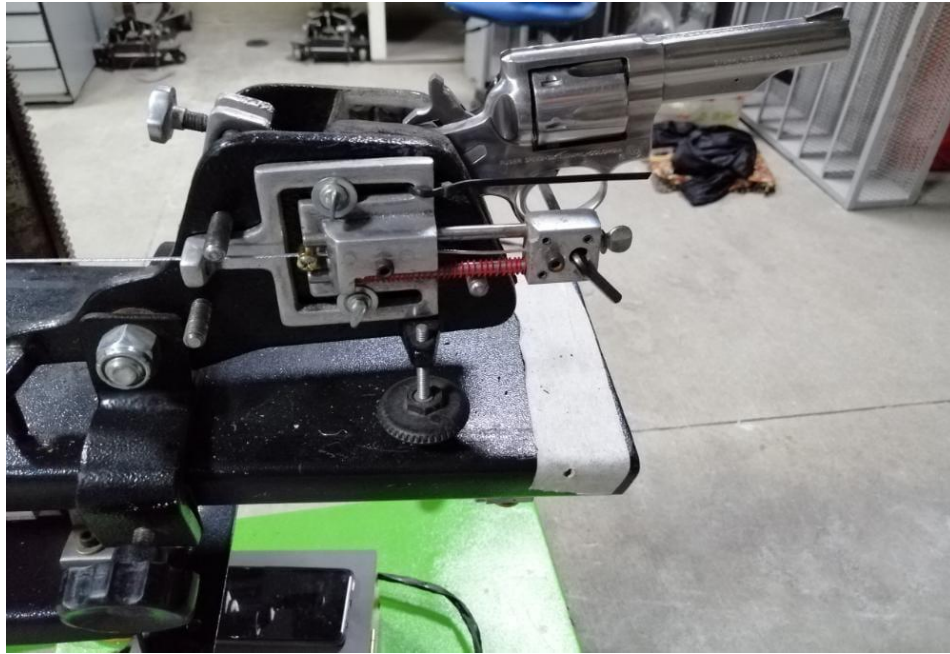


Figura 25. Sistema de sujeción y accionamiento de armas de fuego.

Fuente: Propia

El mecanismo observado en la Figura 25 es el encargado del accionamiento del arma, donde se aprecian esencialmente 2 componentes; Un elemento fijo y uno móvil. El elemento móvil es directamente el que acciona el arma de fuego con ayuda de un objeto metálico, que hace las veces de “dedo” en comparación con una mano humana. Este elemento móvil se desplaza al ser halado por medio de la guaya que es operada manualmente por un funcionario. Posteriormente, cuando el elemento móvil alcanza su tope, el funcionario libera la tensión en la guaya, ocasionando que el resorte rojo actúe sobre este con su fuerza recuperadora, ocasionando un movimiento en sentido contrario al del accionamiento, es decir, ocasionando que el sistema vuelva a su posición inicial.

El principal inconveniente de este sistema de disparo radica en que, si bien cumple con la función de permitir el accionamiento de un arma, el mecanismo que se emplea es altamente inseguro para la persona encargada de manipularlo, debido a que la guaya empleada tiene una longitud aproximada de 4 metros, insuficiente para resguardar la integridad del perito encargado.

Sin abandonar el principio de funcionamiento, se adoptó la idea de emplear un nuevo sistema que conservara la guaya como mecanismo de desplazamiento de la base móvil.

Se optó por usar una polea que cumpliera con el fin anteriormente mencionado, ya que se sabe que las poleas son dispositivos mecánicos de tracción que permiten la fácil transmisión de una fuerza. Dentro de las poleas existentes y sus sistemas combinados, la polea simple era la que más se adaptaba al requerimiento.

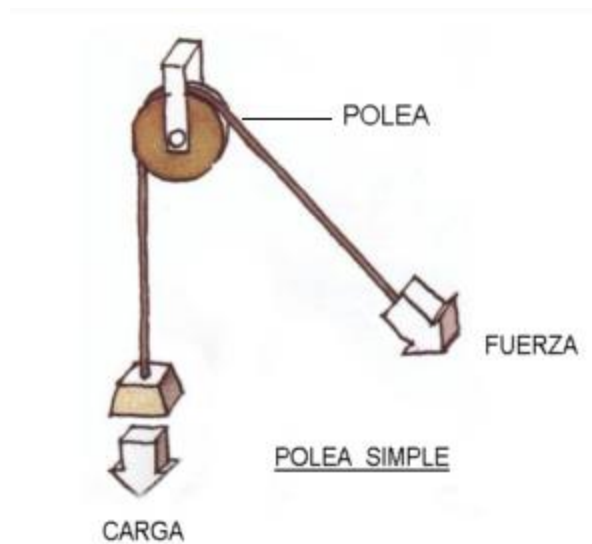


Figura 26. Polea simple.

Fuente: <https://rockbotic.com/blog/maquinas-simples-la-polea-parte-1/>

En la Figura 26 se aprecia que la polea cuenta con una acanaladura a través de la cual se desplaza una cuerda (o elemento con similares características), la cual es la encargada de desplazar una carga

atada a uno de sus extremos mediante una fuerza ejercida en el otro extremo. Es decir, claramente se necesita de un elemento que hale la cuerda una distancia determinada para poder concretar el desplazamiento deseado de la carga. Hasta este punto no se nota una total utilidad de este sistema planteado, pero, al decidir emplear un servomotor como elemento generador de movimiento, surgió la necesidad de encontrar un sistema que permitiera convertir el movimiento circular del servomotor en movimiento lineal, que es el requerido para desplazar el accionador de armas de fuego.

Hay muchos mecanismos que cumplen con este fin, pero hay uno en particular que permitía conservar el principio de funcionamiento del accionador. Se trata del sistema manivela torno.

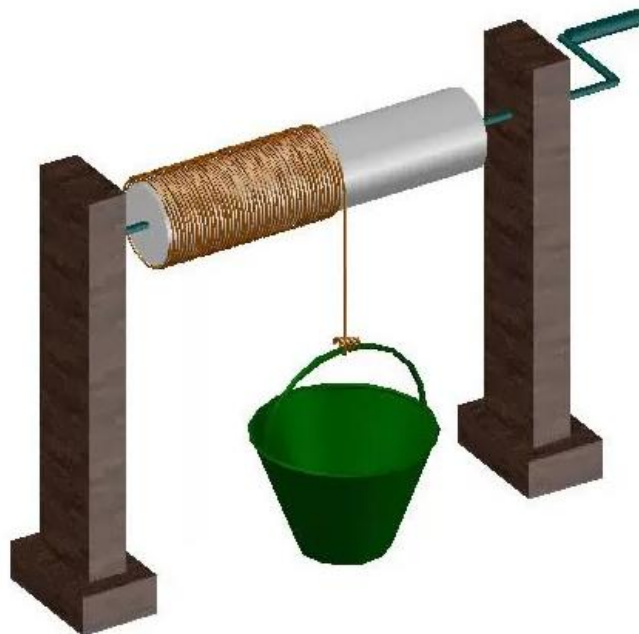


Figura 27. Manivela torno.

Fuente: https://www.bibliocad.com/es/biblioteca/manivela-torno-mecanismo-simple_52544/

Vemos en la Figura 27 que el mecanismo consiste básicamente en un cilindro horizontal sobre el cual se enrolla o desenrolla una cuerda cuando se le imprime un movimiento giratorio sobre su eje.

Se tomó entonces la idea de funcionamiento del mecanismo manivela torno, en el diseño físico de una polea simple. Se elaboró el modelo en el software INVENTOR AUTOCAD, con licencia gratuita para estudiantes durante un año (Ver Figuras 28, 29 y 30).

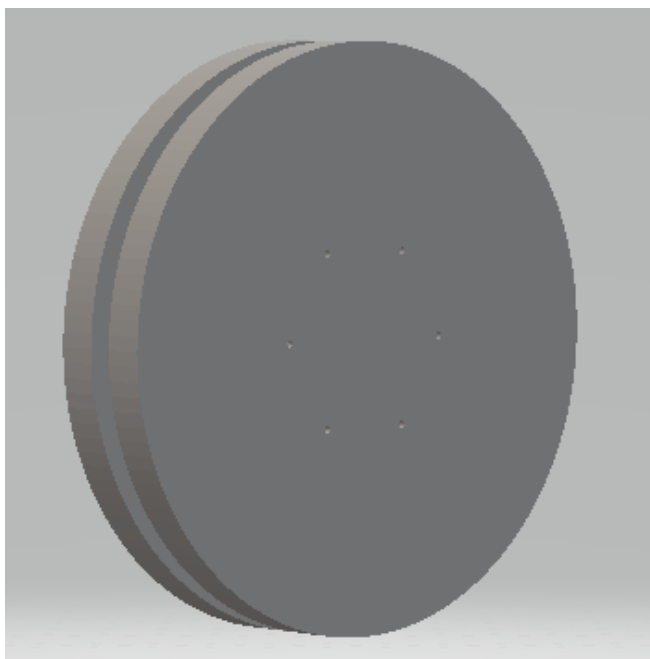


Figura 28. Polea simple. Vista 1. INVENTOR AUTOCAD.

Fuente: Propia

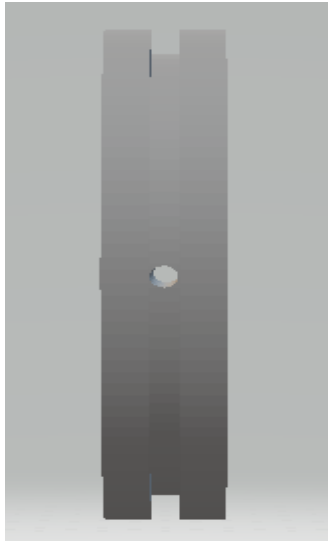


Figura 29. Polea simple. Vista 2. INVENTOR AUTOCAD.

Fuente: Propia

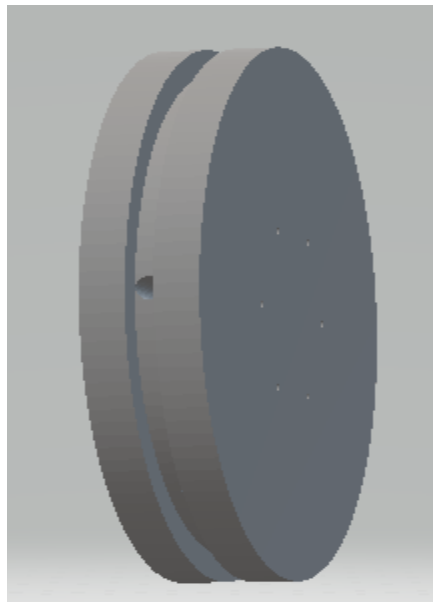


Figura 30. Polea simple. Vista 3. INVENTOR AUTOCAD.

Fuente: Propia

En la Figura 28 se observa una de las caras planas de la polea con algunos agujeros, estos considerados para el acople del servomotor por medio de tornillos. En la Figura 29 se aprecia un agujero que atraviesa la polea justo en su acanaladura, pensado para pasar por medio de este la guaya y crear un sistema de sujeción fija a la polea.

Para el diseño de esta polea fue necesario tener en cuenta algunos aspectos, tales como:

- Cantidad de recorrido lineal requerida.
- Grosor o diámetro de la guaya a emplear.
- Fuerza aproximada requerida para la realización de un disparo. (ver Figura 31)

FUERZA EN EL DISPARADOR FUERZA NECESARIA QUE SE APLICA CON EL DEDO AL DISPARADOR DEL ARMA DE FUEGO, PARA PODER PRODUCIR EL DISPARO EN LAS ARMAS QUE TIENEN ACCIÓN SENCILLA Y ACCIÓN DOBLE, SE DEBE TOMAR EN LAS DOS MODALIDADES	
ARMA DE FUEGO Y ACCION	FUERZA (lbs)
PISTOLA ACCION DOBLE	11 A 13
PISTOLA ACCION SENCILLA	3 A 7
REVOLVER ACCION DOBLE	9 A 11
REVOLVER ACCIÓN SENCILLA	3 A 4
ESCOPETAS ACCION SENCILLA	4 A 6
RIFLES ACCION SENCILLA	3 A 6

Figura 31. Fuerza en libras-fuerza requerida para accionar armas de fuego.

Fuente: Fiscalía General de la Nación

Arma de Fuego y Acción	Fuerza [KG-F]	Fuerza [N]
Pistola Acción Doble	4,98 A 5,89	48,93 A 57,82
Pistola Acción Sencilla	1,36 A 3,17	13,34 A 31,13
Revólver Acción Doble	4,08 A 4,98	40,03 A 48,93
Revólver Acción Sencilla	1,36 A 1,81	13,34 A 17,79
Escopetas	1,81 A 2,72	17,79 A 26,68
Rifles	1,36 A 2,72	13,34 A 26,68

Figura 32. Fuerza en kilogramos-fuerza y en Newton requerida para accionar armas de fuego.

Fuente: Propia

De acuerdo con los datos de la Figura 32, se procedió a indagar sobre servomotores que pudieran cumplir con este rango de fuerza, encontrando el servomotor FT5335M (ver Figura 33 y Figura 34).



Figura 33. Servomotor FT5335M.

Fuente: <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/servomotor-ft5335m-40kgcm/>



Figura 34. Engranajes del servomotor FT5335M.

Fuente: <https://www.dynamoelectronics.com/tienda/servomotor-ft5335m-40kgcm/>

Este servomotor fabricado por Feetech es considerado un servomotor de alto torque de bajo costo. Posee engranajes metálicos, carcasa metálica y plástica, además de 3 cables, 2 de alimentación (Negro y Rojo), y uno de control (Blanco). Según el fabricante cuenta con las dimensiones mostradas en la Figura 35.

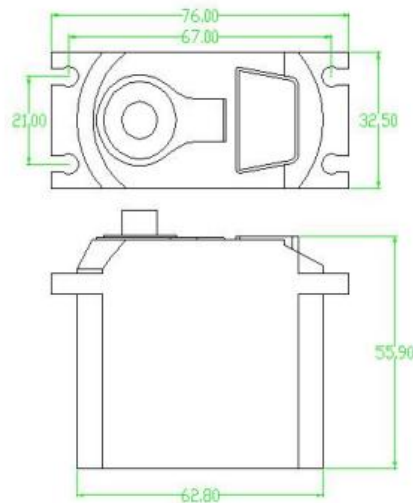


Figura 35. Dimensiones en milímetros del servomotor FT5335M.

Fuente: <https://datasheet.octopart.com/FEETECH-DIGITAL-GIANT-SERVO-FT5335M-Pololu-datasheet-108057976.pdf>

Y también cuenta con las especificaciones eléctricas y mecánicas apreciadas en la Figura 36.

No.	工作电压 Operating Voltage Range	6V	7.4V
4-1*	静态电流 Idle current (at stopped)	8mA	9mA
4-2*	空载速度 No load speed	0.20sec/60degree	0.18sec/60degree
4-3*	空载电流 Runnig current (at no load)	600 mA	700mA
4-4	堵转扭矩 Peak stall torque	35kg. cm	40kg. cm
		486.1oz. in	555.5oz. in
4-5	堵转电流 Stall current	4A (safeguard current 2.1A)	6A (safeguard current 2.8A)

Figura 36. Características mecánicas y eléctricas del servomotor FT5335M.

Fuente: <https://datasheet.octopart.com/FEETECH-DIGITAL-GIANT-SERVO-FT5335M-Pololu-datasheet-108057976.pdf>

Notando entonces que tiene un torque de operaciones entre 35 Kgcm a 40 kgcm, es decir, de 343,23 Ncm a 392.26 Ncm. Adicional a ello, según el fabricante, el servomotor cuenta con un rango de giro de 180° (ver Figura 37).

机构极限角度 Limit angle	180degree
--------------------	-----------

Figura 37. Ángulo límite de giro del servomotor FT5335M.

Fuente: <https://datasheet.octopart.com/FEETECH-DIGITAL-GIANT-SERVO-FT5335M-Pololu-datasheet-108057976.pdf>

Por sugerencia de un miembro de la FGN, se diseñó la polea para realizar un recorrido lineal de 12 cm aproximadamente, y, teniendo en cuenta los datos anteriormente vistos del servomotor, se estableció lo siguiente:

- La cantidad de recorrido lineal es equivalente al perímetro ocupado por la guaya sobre la acanaladura de la polea, por tanto se debía determinar el radio de la dicha polea, teniendo en cuenta que este perímetro en un giro de 180° debía ser de 12 cm. De esta manera:

$$p = \alpha r \quad \text{Ecuación 1.}$$

Donde

p = Perímetro.

α = Ángulo de barrido del motor.

r = radio de la polea.

Entonces:

$$12,0cm = \pi r$$

$$r = \frac{12,0cm}{\pi}$$

$$r \approx 3,8cm$$

Entonces, la polea debía ser de 3,8 cm de diámetro. También se determinó que el grosor de una guaya es de 2 mm aproximadamente, por lo cual se diseñó la acanaladura de 3 mm de cavidad. De igual forma el agujero que atraviesa la polea en medio de la acanaladura fue diseñado de 3 mm.

Finalmente se decidió que el grosor total de la polea debía ser de 0,8 mm con el fin de tener espacio suficiente para adaptar los tornillos de sujeción del servomotor.

Posterior al diseño, la polea fue impresa en impresora 3D, en PLA, obteniéndose lo observado en las Figuras 38 y 39.



Figura 38. Acanaladura de polea impresa.

Fuente: Propia



Figura 39. Vista lateral de polea impresa.

Fuente: Propia

Para el control del servomotor se empleó en todo el proyecto la placa Arduino Uno, y lo primero a resaltar es que el servomotor no podía ser alimentado directamente de la placa, debido a que el voltaje de funcionamiento se encuentra entre 6 V y 7,4 V y puede llegar a requerir hasta 6 A de corriente, como se observa en la Figura 35. El Arduino Uno cuenta con un pin de salida de voltaje, pero este proporciona 5 V únicamente, y la corriente no puede exceder los 500 mA.

En consecuencia se empleó para este fin una fuente ATX reciclada de computador de escritorio (ver Figura 40), la cual cuenta con las características mostradas en la Figura 41.

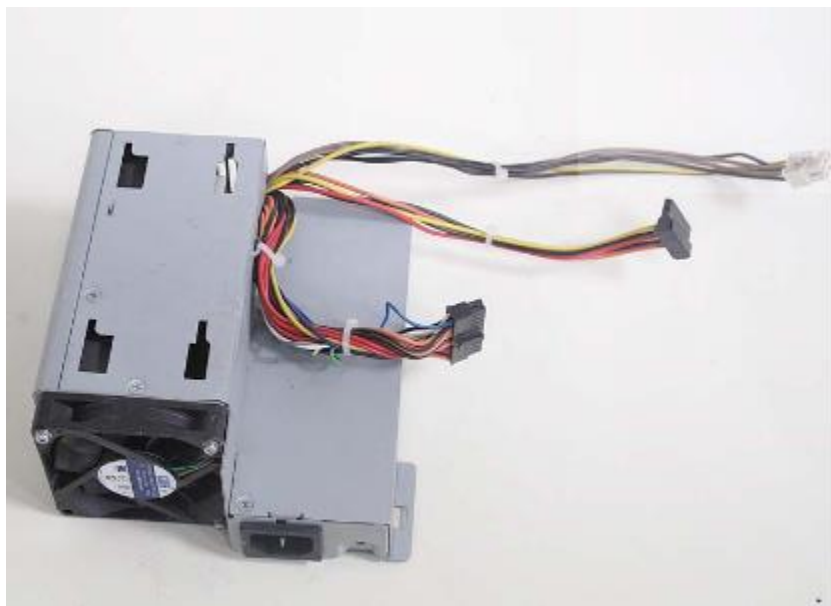


Figura 40. Fuente ATX para PC de escritorio.

Fuente: <https://www.cargar-bateria.com/hp-adaptadores-API3PCB4-p1775146.htm>



Figura 41. Características de fuente ATX.

Fuente: Propia

24 Pin ATX Pinout					
Pins 1 through 12			Pins 13 through 24		
Description	Wire color	Pin number	Pin number	Wire color	Description
+3.3 volts	orange	1	13	orange	+3.3 volts
+3.3 volts	orange	2	14	blue	-12 volts
ground	black	3	15	black	ground
+5 volts	red	4	16	green	PS_ON#
ground	black	5	17	black	ground
+5 volts	red	6	18	black	ground
ground	black	7	19	black	ground
PWR_OK	gray	8	20	white	-5 volts (optional)
VSB +5 volts	purple	9	21	red	+5 volts
+12 volts	yellow	10	22	red	+5 volts
+12 volts	yellow	11	23	red	+5 volts
+3.3 volts	orange	12	24	black	ground

Figura 42. Función de acuerdo a los colores de los cables de fuente ATX.

Fuente: <https://www.fayerwayer.com/2011/07/la-fuente-de-poder-chwonders/>

Como se aprecia en la Figura 42, se tienen muchos cables de varios colores, cada uno con un voltaje o función asociada. El pin de color verde es el que permite realizar el encendido de la fuente al puentearla con cualquier pin a tierra (pin de color negro).

Se observa también que para conectar el servomotor no sirve ni la salida de 5 V ni la de 3,3 V, puesto que el rango de funcionamiento de este es de 6 V a 7,4 V según el fabricante. En ese orden de ideas el único pin que puede soportar dicha conexión es el amarillo que cuenta con 12 V, pero se debe realizar una reducción de voltaje porque de lo contrario el servomotor se vería afectado.

En la Figura 41 se establece que la salida de 12 V permite un Amperaje de hasta 15,5 A, y el servomotor lo máximo que puede llegar a requerir es 6 A cuando trabaja a 7,4 V según el fabricante.

Para la reducción de voltaje se empleó un regulador IL 90-046, que en su entrada puede recibir de 5 V a 40 V, y esa entrada reducirla de 1,2 V a 35 V ajustables. (ver Figura 43)



Figura 43. Regulador ajustable de voltaje IL 90-046.

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-475529350-reductor-de-voltaje-entrada-5-40v-salida-12-35v-300w-_JM#position=17&type=item&tracking_id=70e3dbdd-bb9b-43dd-9d53-51397f2fd6e1

Este regulador soporta hasta 9 A en su salida, por lo cual se adapta a la perfección al requerimiento del servomotor. De este modo entonces la salida de la fuente de poder ATX de 12

V se llevó a la entrada del regulador, y este en su salida se ajustó para que entregara un voltaje de 7,4 V que se empleó como alimentación del servomotor.

Para el control inalámbrico se empleó un módulo bluetooth HC-06, controlado al igual que el servomotor desde la placa Arduino Uno, y compatible con el módulo bluetooth de cualquier computador portátil.

Adicionalmente se implementó un sensor de sonido KY-038, nuevamente controlado desde Arduino Uno, cuyo fin es sensor la detonación de las armas de fuego accionadas con el prototipo, y de esta manera poder tomar una decisión en el funcionamiento del accionador. Ambos transductores fueron alimentados directamente desde el Arduino a la salida de 5 V.

Para el control del servomotor, Arduino cuenta en su lenguaje de programación con una librería llamada Servo.h. Esta librería cuenta con valores por defecto para los pulsos PWM, valores estándares de los servomotores. Al tratar de realizar el control del servomotor FT5335M con la librería anteriormente mencionada se obtuvo un movimiento caótico, el servomotor no respondía con las instrucciones deseadas. Se decidió entonces usar la librería VarSpeedServo.h, que es una librería mucho más elaborada y tiene grandes ventajas sobre la librería estándar, tales como por ejemplo el control directo de la velocidad de giro del servomotor, y el establecimiento directo de los rangos mínimo y máximo de tiempos de los pulsos PWM.

El rango de funcionamiento de los tiempos de los pulsos PWM del FT5335M son, según el fabricante, los apreciados en la Figura 44.

脉冲宽度范围 Pulse width range	900~2100μsec
--------------------------	--------------

Figura 44. Rango del ancho de pulso del servomotor FT5335M.

Fuente: <https://www.pololu.com/file/0J1434/FT5335M-specs.pdf>

La función para definir el ancho de pulso empleando esta librería es `myservo.attach(Pin, min, max)`, en donde “Pin” es el pin mediante el cual se controlará el servomotor con el Arduino, “min” y “max” son los tiempos en micro segundos mínimo y máximo respectivamente que puede adquirir el pulso PWM en su nivel alto.

Tras emplear la función con los valores sugeridos por el fabricante nuevamente se obtuvo un comportamiento caótico del servomotor, así que se procedió a realizar un tanteo por ensayo y error hasta que se encontraron los valores indicados de funcionamiento. Se determinó que eran necesarios 500 μ s en el límite mínimo, y 2500 μ s en el límite máximo.

Establecidos los parámetros y elementos necesarios para un correcto acondicionamiento del servomotor, se procedió con el diseño de la aplicación de escritorio, empleando para su desarrollo el software Proteus.

La aplicación cuenta en primera instancia con un sistema de registro y acceso, como se enseña a continuación.

Para acceder a la aplicación, primero se requiere un usuario y de esta manera hacer una lectura de archivo (ver Figura 45).

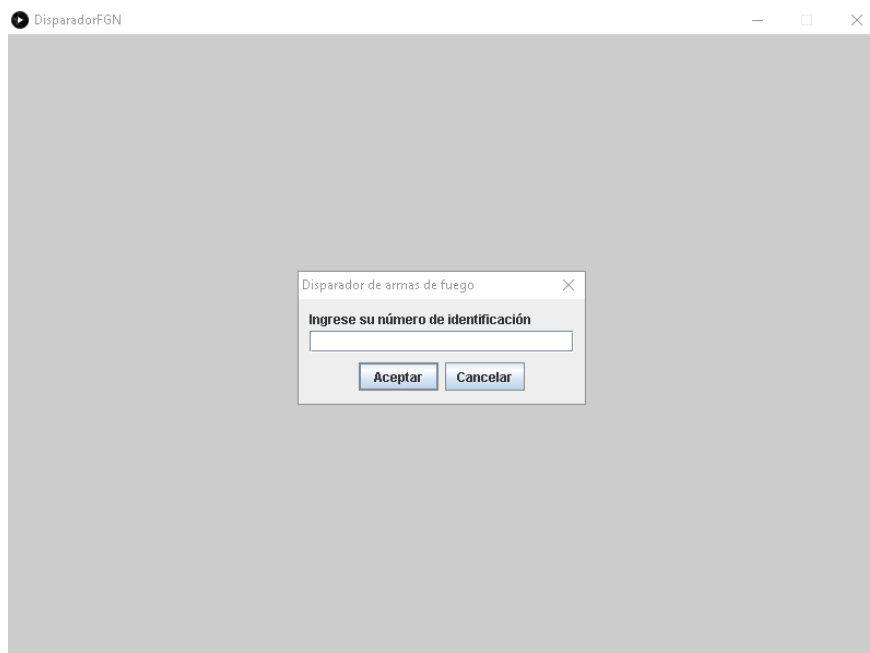


Figura 45. Ingresar identificación. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Si el usuario ingresado no se encuentra en dicho archivo, entonces se procede con la etapa de registro. Para ello el sistema interpreta el usuario ingresado como el que se desea registrar, es por ello que directamente almacena dicho usuario y solicita una contraseña de administrador (ver Figura 46). Si al momento de ingresar erran el usuario, e ingresan uno que no se desea, entonces el programa de inmediato lo interpreta como usuario nuevo, por lo cual basta con clickear el botón “CANCELAR” o en el botón “X”, de este modo el programa se cierra y el usuario ingresado no es almacenado.

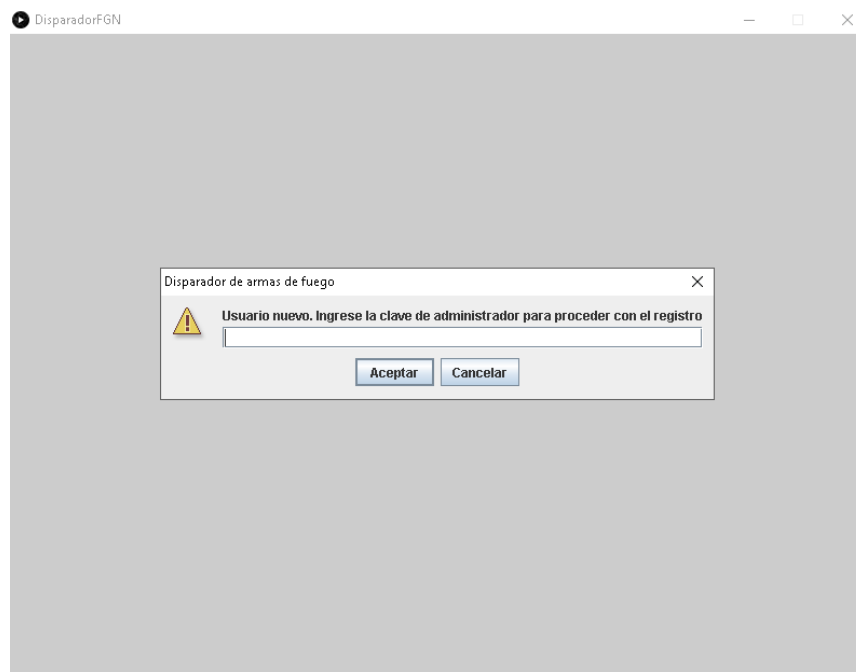


Figura 46. Ingreso de clave de administrador. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia.

La clave de administrador es una clave establecida por código, no puede ser cambiada mediante la aplicación. Si esta clave se ingresa de manera incorrecta, de inmediato saldrá un aviso advirtiéndolo, y posteriormente el programa se cerrará eliminando el usuario que se deseaba registrar (ver Figura 47).

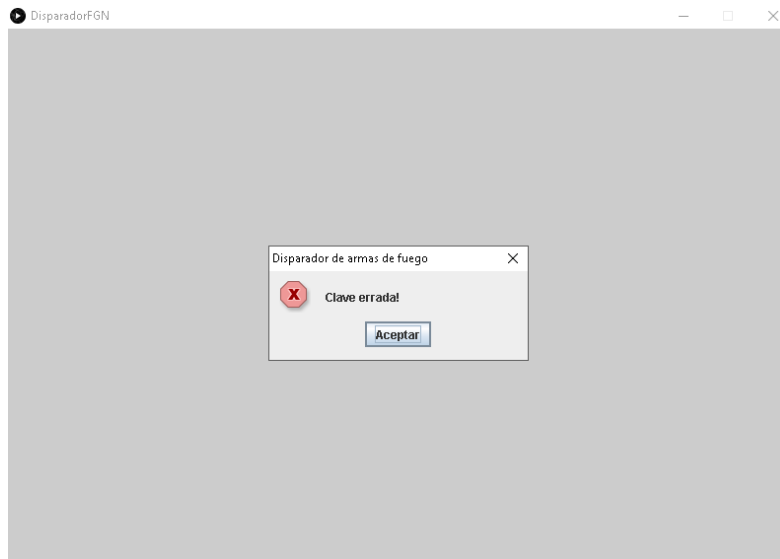


Figura 47. Clave de administrador errada Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Si por el contrario, la clave ingresada es la correcta, de igual forma el programa dará aviso de ello, y dará acceso con la continuación del registro (ver Figura 48).

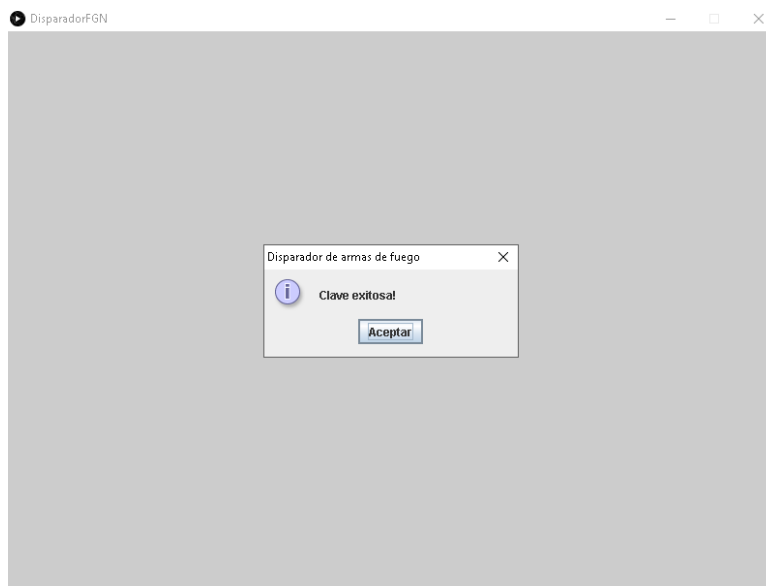


Figura 48. Clave de administrador exitosa. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Posteriormente, al hacer click en aceptar en cuadro de diálogo de la Figura 48, la aplicación dirige al usuario al registro de una contraseña, que será almacenada también en un archivo para poder ser verificada cada que se desee ingresar con el usuario vinculado a esta contraseña (ver Figura 49).

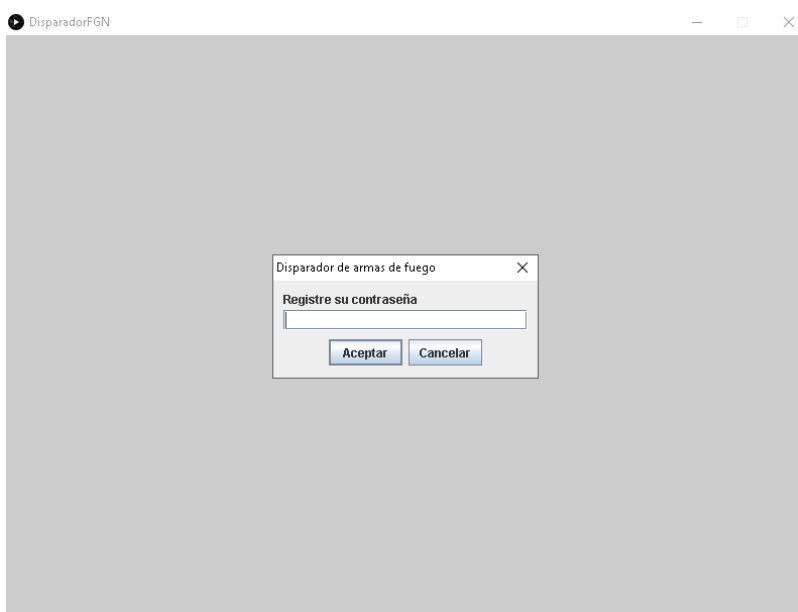


Figura 49. Registro de contraseña. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Una vez almacenada la contraseña, la aplicación dará aviso si el proceso fue exitoso, y posteriormente concederá acceso a la interfaz del disparador de armas de fuego (ver Figura 50).

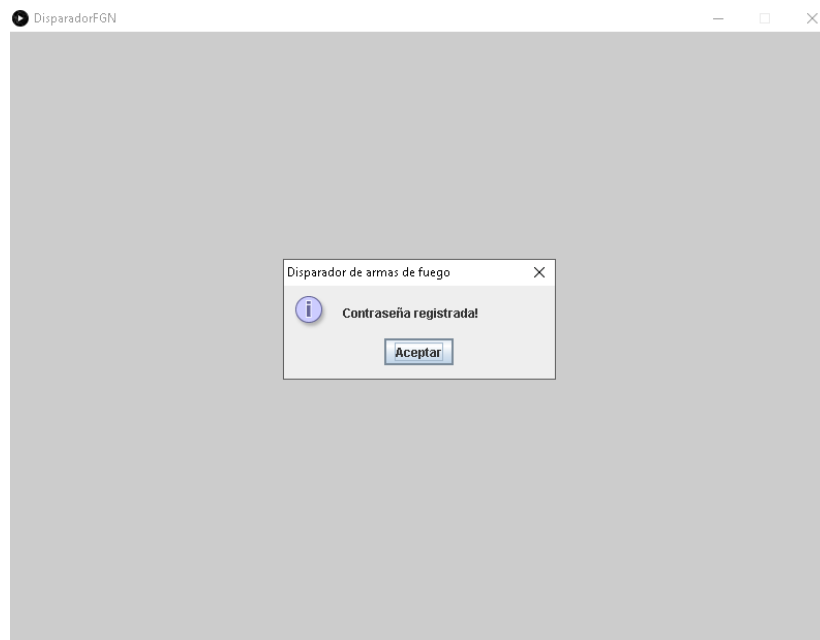


Figura 50. Contraseña registrada. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia



Figura 51. Interfaz del disparador de armas de fuego. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

En la Figura 51 se aprecia el menú principal de la aplicación de escritorio, este se compone de un título, dos submenús y los respectivos logos. Cada que se accede a cualquier submenú se puede regresar a la pantalla de menú principal mediante un botón habilitado para esta función

Al ingresar al submenú llamado accionador automático, se obtiene con lo mostrado en la Figura 52:



Figura 52. Accionador automático. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Se cuenta con un botón llamado “Disparar” y haciendo click sobre este, el servomotor comienza a realizar el recorrido que materializará el disparo, y también se tiene otro botón llamado “Regresar” que ocasiona el retorno hacia el menú principal.

Cuando se hace click sobre el botón “Disparar”, el programa muestra otra pantalla que estará visible mientras se lleve a cabo la acción del disparo. Esta pantalla se enseña como sigue en la Figura 53.



Figura 53. Realizando disparo. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Si en el recorrido del servomotor el sensor de sonido no se activa, quiere decir que nunca hubo una detonación, o, dicho de otra manera, no se produjo un disparo al accionar el arma de fuego. Si esto ocurre el programa mostrará un letrero advirtiendo la situación (ver Figura 54), y posteriormente se redirigirá al submenú “Accionador automático” en donde se podrá tomar la decisión de practicar nuevamente un disparo o regresar al menú principal.



Figura 54. Disparo fallido. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Por el contrario, si el sensor de sonido es activado por la detonación de un disparo, el programa mostrará otro anuncio en el cual ratifica lo ocurrido (ver Figura 55).

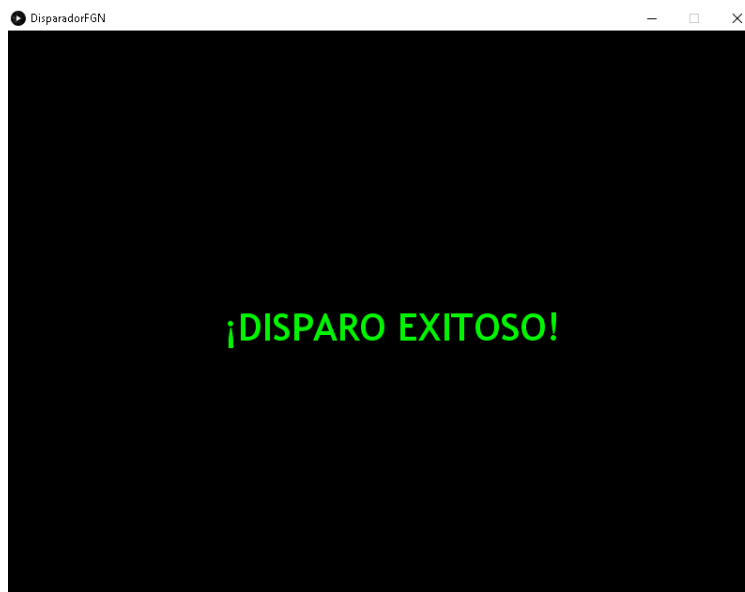


Figura 55. Disparo exitoso. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Por otro lado, al ingresar al submenú llamado “Accionador Manual”, se despliega la pantalla mostrada en la Figura 56.

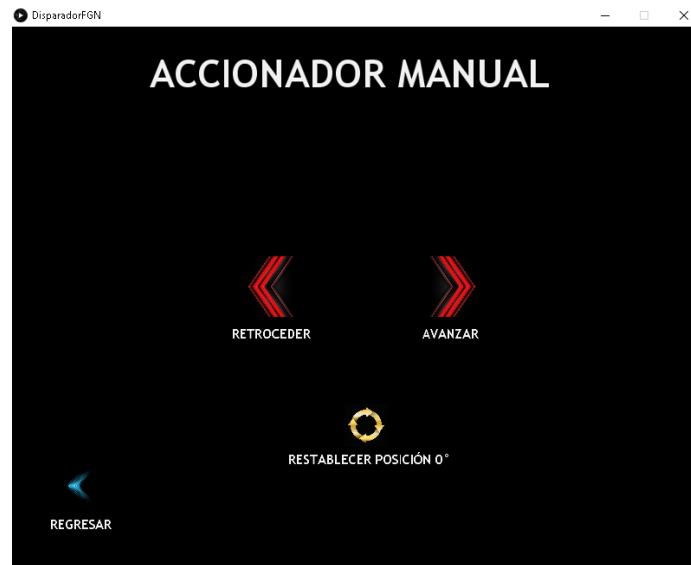


Figura 56. Accionador manual. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

El botón “Avanzar” tiene la función de hacer girar el servomotor en un sentido cuando se activa con un click sostenido. Por su lado el botón “Retroceder” actúa haciendo girar el servomotor en el sentido opuesto al anterior, siendo activado de igual manera con un click sostenido. Si se presiona con un click el botón de restablecer la posición 0°, el servomotor regresa a la posición inicial. De nuevo se cuenta con el botón “Regresar”.

Al dejar presionado el botón “Avanzar”, se despliega en pantalla lo mostrado en la Figura 57.

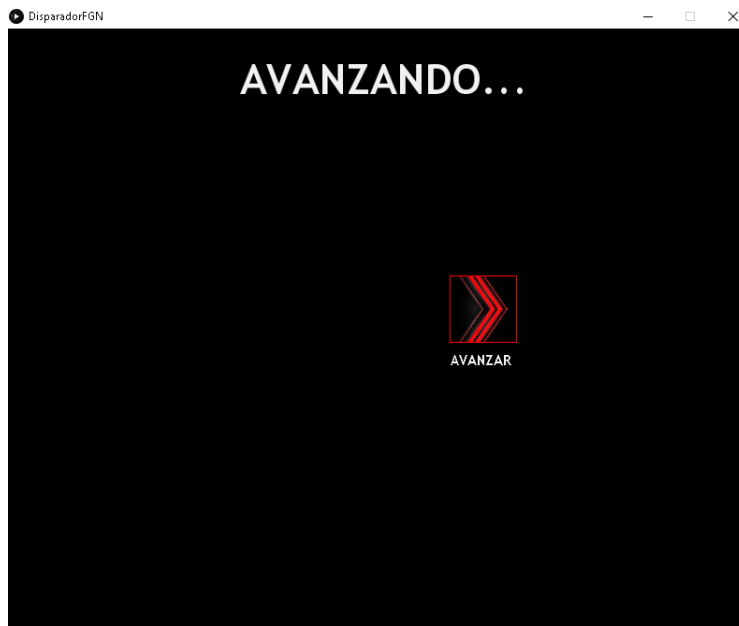


Figura 57. Avanzando. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Llegará un momento en el cual el servomotor no puede avanzar más, así que en pantalla aparecerá el texto que se puede apreciar en la Figura 58.



Figura 58. Máximo rango de giro alcanzado. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Al dejar presionado el botón “Retroceder”, se despliega en pantalla lo mostrado en la Figura 59.

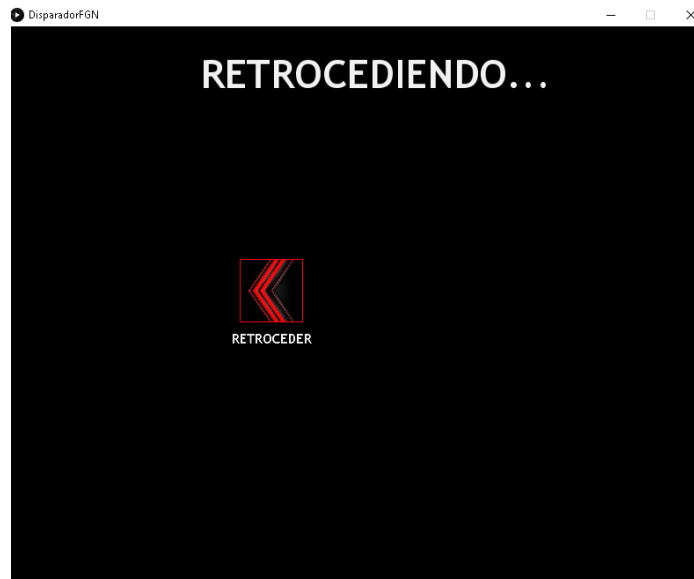


Figura 59. Retrocediendo. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

Llegará un momento en el cual el servomotor no puede retroceder más, así que en pantalla aparecerá el texto que se puede apreciar en la Figura 60.



Figura 60. Mínimo rango de giro alcanzado. Aplicación de escritorio.

Fuente: Propia

En un principio el servomotor presentó fallas en su funcionamiento y se descubrió que el causante de estos fallos era la inducción electromagnética que producía la fuente ATX. Esto sucedía ya que por la fuente circulan cantidades considerables de corriente, y el servomotor se tenía muy cerca a dicha fuente. Por esta razón se decidió acondicionar el servomotor a una distancia prudente de la fuente, para ello se empleó una caja metálica en la cual también se encuentran contenidos el módulo BT y el sensor de sonido (ver Figura 63). Esta caja se fijó a la base que soporta las armas de Fuego, apreciada en la Figura 24. Los demás componentes tales como la Fuente ATX, la placa Arduino Uno, el reductor de voltaje y cables de conexiones, se acondicionaron en una caja de madera. (ver Figura 64).

Al realizar las pruebas de torque del motor para verificar si estaba en condiciones de accionar las armas de fuego, se encontró que este fue incapaz de realizar lo deseado. En este punto había un problema, ya que el motor debía vencer la fuerza del accionamiento del arma, pero adicional debía vencer la fuerza que ejercía el sistema de disparo con su resorte recuperador y fricciones en general. Esta fuerza es desconocida.

Se decidió entonces en pro de aumentar el torque del servomotor, disminuir el diámetro de la polea. Se evidenció que para la realización de un disparo en armas de fuego de corto alcance tales como pistolas o revólveres, la distancia lineal necesaria para poder realizar el disparo es de aproximadamente 3 cm.

Adicionalmente se encontró que pese a que el fabricante establece que el rango de giro del servomotor es de 180° (Ver Figura 37), experimentalmente no se obtuvo un giro superior a los 120° , por lo que a la hora de calcular el nuevo diámetro de la polea, se decidió obtener un recorrido lineal de 3,5 cm y se obtuvo, según la ecuación 1:

$$3,5cm = \frac{2,0\pi}{3,0} r$$

$$\frac{10,5cm}{2,0\pi} = r$$

$$r \approx 1,7cm$$

Es decir, un diámetro de aproximadamente 3,4 cm. En esta ocasión la polea se diseñó en madera, y el diámetro de esta se llevó hasta los 3,5 cm. Todas las demás dimensiones dadas en el diseño de la polea inicial, se conservaron (ver Figuras 61 y 62).



Figura 61. Vista lateral de polea en madera.

Fuente: Propia



Figura 62. Acanaladura. polea en madera.

Fuente: Propia

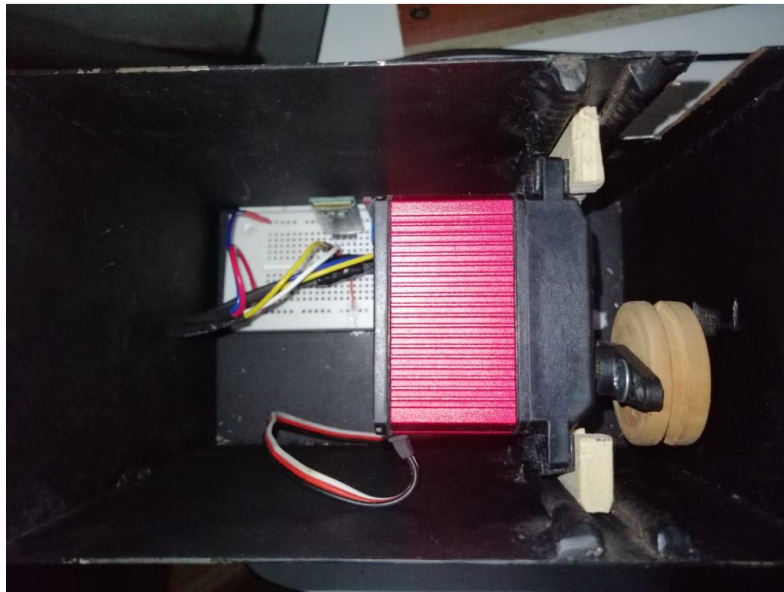


Figura 63. Caja metálica.

Fuente: Propia

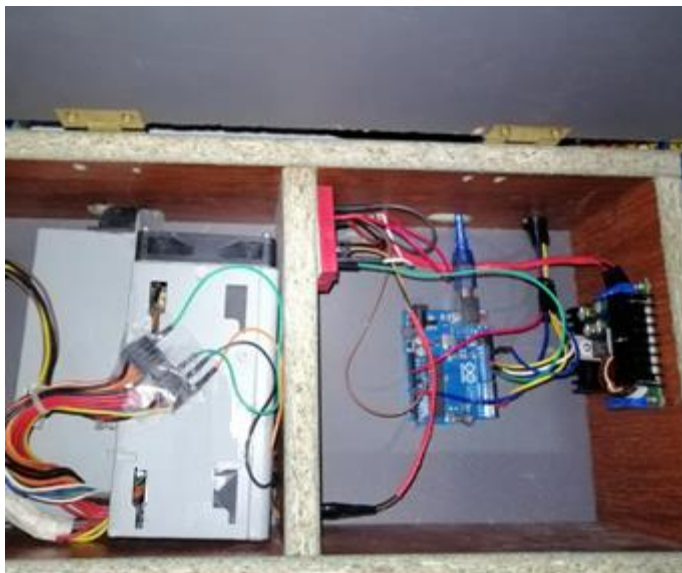


Figura 64. Caja de madera.

Fuente: Propia

El montaje final en las instalaciones de la FGN quedó como se muestra en la Figura 65.



Figura 65. Prototipo acondicionado en la FGN.

Fuente: Propia

Capítulo 5. Resultados

- Al realizar las pruebas con el prototipo final, se consiguió realizar el accionamiento de armas de fuego configuradas en acción simple.
- El sensor de sonido funcionó de acuerdo a lo esperado, se activó siempre que tuvo lugar una detonación proveniente de un disparo.
- El módulo BT permitió sin inconvenientes la comunicación inalámbrica entre la aplicación de escritorio y el dispositivo físico. Este tuvo un rango efectivo de aproximadamente 15 metros.
- Se evidenciaron algunas fallas estructurales en el dispositivo que se emplea en la FGN, lo cual impedía una fluidez total en el funcionamiento del servomotor. Al tratar realizar el accionamiento de las armas de fuego en configuración de acción doble, sólo se logró obtener una parte del recorrido necesario para este accionamiento, es decir, el servomotor no contó con el torque suficiente para llevar a cabo esta actividad, teniendo en cuenta las fallas anteriormente mencionadas.

Conclusiones

- Se llevó a cabo el desarrollo y ejecución de este trabajo en una época difícil decretada como estado de pandemia por la Organización Mundial de la Salud y adoptada por el Gobierno Nacional como tal. Esto hizo complejo el desarrollo presencial en términos de tiempo, y además dificultó el aporte económico. Por esto se decidió entender este proyecto como un prototipo de bajo costo, que sirve para ilustrar una alternativa fiable y realizable para atacar la situación problema presentada en este trabajo.
- Se desarrolló un prototipo funcional, compuesto de una aplicación de escritorio con una interfaz de usuario amigable e intuitiva, logrando un control inalámbrico para la realización de disparos en armas de fuego configuradas en acción simple, a una distancia lo suficientemente prudente para resguardar la integridad física de los peritos encargados de esta actividad en la FGN.
- Se logró llevar a cabo una parte del recorrido necesario para el accionamiento de armas de fuego en acción doble, entendiendo que si se resuelven los defectos estructurales se podrá obtener el 100% del accionamiento.

Recomendaciones y Trabajos futuros

- Invertir mayor capital en los componentes empleados para el desarrollo físico y mecánico, para de este modo obtener un mecanismo de mayor fiabilidad y durabilidad.
- Determinar el torque necesario para mover linealmente el accionador del mecanismo de disparo de la FGN, puesto que este se suma al torque que debe vencer el servomotor en la realización de un disparo, y fue un dato siempre desconocido en el desarrollo de este trabajo.
- Corregir los defectos estructurales que posee el mecanismo de disparo de al FGN para lograr una mayor fluidez en el movimiento del servomotor, y por ende, una optimización en el torque que este aporta.

Referencias

- [1] «Secretaría Senado,» 08 Octubre 2019. [En línea]. Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0599_2000_pr001.html. [Último acceso: Octubre 2019].
- [2] «Dvorak Instruments, Inc,» [En línea]. Available: <https://www.dvorakinstruments.com/Products/TriggerScan-System.asp>. [Último acceso: 2019].
- [3] «EL HERALDO. Las armas artesanales, un peligro doble,» 6 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.elheraldo.co/judicial/las-armas-artesanales-un-peligro-doble-232212>. [Último acceso: 2019].
- [4] «Policía Nacional,» Policía Metropolitana de Pereira, 2017. [En línea]. Available: <https://policia.gov.co/noticia/policia-metropolitana-pereira-entrega-278-armas-fuego-ser-destruidas>. [Último acceso: 2019].
- [5] d. instruments, «Dvorak Air Recoil Systems,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.dvorakinstruments.com/Products/TriggerScan-System.asp>. [Último acceso: 10 02 2020].
- [6] Radwell, «Radwell International Inc.,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.radwell.com/es-ES/Buy/ORIENTAL%20MOTOR/VEXTA/PK243-02AA/>. [Último acceso: 02 2020].
- [7] OrientalMotor, «Catálogo Stepping Motor,» 2009/20010. [En línea]. Available: https://www.orientalmotor.com/products/pdfs/2009-2010/C/usa_st_2pk_pv.pdf. [Último acceso: 02 2020].
- [8] Prototypa, «Prototypa,» 2020. [En línea]. Available: <http://www.prototypa.com/>. [Último acceso: 03 2020].

- [9] A. G. González, «Panamahitek, conocimiento libre,» 02 12 2016. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/que-es-y-como-funciona-un-servomotor/>. [Último acceso: 03 2020].
- [10] V. R. González, «Servomotores,» 2003. [En línea]. Available: http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/motores_servo.htm#:~:text=Este%20potenci%C3%B3metro%20permite%20a%20la,al%20%C3%A1ngulo%20que%20es%20correcto.. [Último acceso: 03 2020].
- [11] J. A. Vicaria Flores, «Aplicaciones de controlador Bluetooth en Robótica.,» [En línea]. Available: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11526/fichero/Aplicaciones+de+un+controlador+Bluetooth+en+Rob%C3%B3tica+%252FCapitulo+4.+Bluetooth.pdf>. [Último acceso: 03 2020].
- [12] C. Electrónica, «Tienda de componentes electrónicos CDMX,» 2020. [En línea]. Available: <https://cdmxelectronica.com/producto/modulo-bluetooth-hc-06/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20M%C3%B3dulo%20Bluetooth,para%20generar%20peticiones%20de%20conexi%C3%B3n..> [Último acceso: 03 2020].
- [13] Serway-Jewitt, «scribd,» [En línea]. Available: <https://es.scribd.com/doc/53120815/Serway-Jewitt-T1-Cap-17-Ondas-y-Sonido>. [Último acceso: 03 2020].
- [14] «De Sensores,» 2019. [En línea]. Available: <https://desensores.com/sensores/tipos-de-sensores/principio-de-funcionamiento-de-un-sensor-de-sonido/>. [Último acceso: 2020].
- [15] T. O. SaberTec, «SaberTec,» [En línea]. Available: <https://saber.patagoniatec.com/2017/05/sensor-de-sonido-ky-038/>. [Último acceso: 2020].

- [16] M. Electronics, «Arduio.cl,» [En línea]. Available: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>. [Último acceso: 2020].
- [17] Processing, «Processing,» [En línea]. Available: <https://processing.org/>. [Último acceso: 2020].
- [18] C. C. d. F. e. E. Criminal, «Armas de Fuego,» España.